



Dynamiques d'évolution des géosystèmes en milieu tropical humide insulaire : Approche par les bassins versants d'Anjouan aux Comores

Mirhani Nourddine

► To cite this version:

Mirhani Nourddine. Dynamiques d'évolution des géosystèmes en milieu tropical humide insulaire : Approche par les bassins versants d'Anjouan aux Comores. Géographie. Université d'Angers; Université de Toliara, 2014. Français. NNT : . tel-01044456

HAL Id: tel-01044456

<https://theses.hal.science/tel-01044456>

Submitted on 14 Aug 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITE D'ANGERS

U.F.R. de géographie
Ecole doctorale : Droit, Economie-Gestion,
Environnement, Sociétés, Territoires
Laboratoire ESO-Angers, UMR CNRS-6590
LETG-Angers LEESA, UMR CNRS-6554



UNIVERSITE DE TOLIARA

Faculté des Lettres :
Formation Doctorale Pluridisciplinaire

Faculté des Sciences :
Laboratoire des Sciences de la Terre



THESE EN COTUTELLE

Par

Nourddine MIRHANI

Soutenue publiquement le 25 juin 2014
en vue de l'obtention du

DOCTORAT

de l'Université d'Angers et de l'Université de Toliara

Spécialité : Géographie physique, humaine, économique et régionale
(Arrêté du 7 août 2006)

**DYNAMIQUES D'EVOLUTION DES GEOSYSTEMES
EN MILIEU TROPICAL HUMIDE INSULAIRE :
APPROCHE PAR LES BASSINS VERSANTS
D'ANJOUAN AUX COMORES**





UNIVERSITE D'ANGERS

U.F.R. de géographie
Ecole doctorale : Droit, Economie-Gestion,
Environnement, Sociétés, Territoires
Laboratoire ESO-Angers, UMR CNRS-6590
LETG-Angers LEESA, UMR CNRS-6554



UNIVERSITE DE TOLIARA

Faculté des Lettres :
Formation Doctorale Pluridisciplinaire

Faculté des Sciences :
Laboratoire des Sciences de la Terre



Faculté des
Lettres



Faculté des
Sciences

THESE EN COTUTELLE

Par

Nourddine MIRHANI

Soutenue publiquement le 25 juin 2014
en vue de l'obtention du

DOCTORAT

de l'Université d'Angers et de l'Université de Toliara

Spécialité : Géographie physique, humaine, économique et régionale
(Arrêté du 7 août 2006)

DYNAMIQUES D'EVOLUTION DES GEOSYSTEMES EN MILIEU TROPICAL HUMIDE INSULAIRE : APPROCHE PAR LES BASSINS VERSANTS D'ANJOUAN AUX COMORES

Membres du jury

M. Alphonse DINA
M. Aziz BALLOUCHE
M. Théodore RAZAKAMANANA
Mme Aude Nuschia TAÏBI
Mme Félicitée REJO-FIENENA
M. Hervé RAKOTO RAMIARANTSOA
M. Cyril FLEURANT
M. Barthélemy MANJAKAHERY

Professeur à l'Université de Toliara
Professeur à l'Université d'Angers
Professeur Titulaire à l'Université de Toliara
Maître de Conférences à l'Université d'Angers
Professeur à l'Université de Toliara
Professeur à l'Université de Bordeaux 3
Professeur à l'Université d'Angers
Professeur à l'Université de Toliara

Président
Directeur
Directeur
Encadreur
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur

Sommaire

Sommaire	I
Dedicace	II
Remerciements	III
Acronymes	III
 Introduction générale	1
 Partie I. Le terrain et les outils méthodologiques	6
Chapitre I. Anjouan, un espace atelier	7
Chapitre II. La méthodologie et les concepts	42
 Partie II. Les deux bassins versants pilotes : Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni ...	69
Chapitre III. Analyse descriptive des composantes géosystémiques	70
Chapitre IV. Dynamiques d'évolution des composantes géosystémiques	106
 Partie III. A la recherche d'un modèle d'analyses	140
Chapitre V. Multiplicité des acteurs, multiplicité des regards	141
Chapitre VI. La perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants : mythe et réalité, sensibilité des milieux et modèle d'aménagement	173
 Conclusion générale	203
 Bibliographie et webographie	210
 Annexes	225
 Liste des figures	
Liste des photos	
Liste des tableaux	
Table des matières	

Dedicace

A la mémoire de mon père
MIRHANI Saïdali Chahassu

Remerciements

Au terme de ces trois ans et demi de recherche, il demeure dans ma conscience que la présente thèse de doctorat est le fruit de multiples soutiens : intellectuels, financiers, matériels et moraux apportés par des institutions, des scientifiques de disciplines différentes, des Autorités politiques, des amis et des familles.

Ma plus profonde gratitude s'adresse aux responsables scientifiques et promoteurs de cette recherche pour leur disponibilité et leur encadrement :

- le Pr Aziz BALLOUCHE, Directeur de thèse et Directeur du Laboratoire LETG-Angers LEESA à l'Université d'Angers. Il m'a accueilli dans son laboratoire et m'a formé sur les approches géosystémiques. Il m'a appris à être prudent sur le choix de la terminologie scientifique. Au Laboratoire LETG-Angers LEESA, je me rappelle de ses analyses critiques lorsque j'ai paradoxalement parlé d'un « assèchement des cours d'eau » dans une île qui reçoit plus de 1000 mm de précipitations avec une saison sèche peu marquée !!!

- le Pr titulaire RAZAKAMANANA Théodore, Directeur de thèse à l'Université de Toliara et Responsable de la formation doctorale en Sciences de la Terre qui, dès le début de la recherche, m'a fait confiance et m'a donné des conseils sur la manière de gérer le temps. Je n'oublierai pas les week-ends, les jours de fêtes et les soirs pendant lesquels il a incessamment répondu à mes mails et à mes appels téléphoniques. J'ai retenu les techniques données pour établir le projet du plan de la thèse tout en suivant la logique des idées et en m'assurant de n'avoir rien oublié.

- le Dr Aude Nuscia TAÏBI, Maître de Conférences en géographie physique, qui a assuré l'encadrement de cette thèse et qui m'a formé en géomatique au Laboratoire ESO-Angers. Ses enseignements en géomorphologie sur le terrain à Anjouan et au Laboratoire LETG-Angers LEESA m'ont été très utiles. Par sa confiance, ses encouragements et ses critiques constructives très pointues, elle m'a apporté un appui scientifique et technique inestimable.

- le Pr Laurent COUDERCHET de l'Université de Bordeaux 3, responsable scientifique de la recherche dans le cadre du PCSI et membre du comité de suivi de la thèse. Ses conseils, ses remarques et ses critiques ont apporté de la matière dans cette thèse. Par lui, j'ai compris l'importance de croiser la science académique et la « science paysanne », d'analyser le mythe de la déforestation et des zones humides à Anjouan, etc.

- le Dr ROGER Edmond, Maître de Conférences en écologie et botanique à l'Université d'Antananarivo, responsable scientifique de la recherche dans le cadre du PCSI et membre du comité de suivi de la thèse. Il m'a encadré depuis mes études universitaires de Fianarantsoa (2000-2003) puis à Toliara. Il m'a initié à l'écologie végétale et m'a appris à être toujours patient et persévérant dans la recherche. Son séjour sur le terrain m'a apporté une large connaissance sur la flore d'Anjouan.

Mes vifs remerciements s'adressent aux membres du jury d'avoir accepté d'évaluer cette recherche : le Pr Alphonse DINA (Président du jury), le Pr Hervé RAKOTO RAMIARANTSOA (Rapporteur), le Pr REJO-FIENENA Félicitée (Rapporteur), le Pr MANJAKAHERY Barthélemy (Examineur), le Pr Cyril FLEURANT (Examineur) et le Pr Ndrianja RAMANGASALAMA (Professeur-invité et Directeur de la Formation Doctorale Pluridisciplinaire de la Faculté des Lettres à l'Université de Toliara).

Je pense au regretté Dr. Marc RAZAFINDRAKOTO, ancien Directeur de la Formation Doctorale Pluridisciplinaire de la Faculté des Lettres de l'Université de Toliara, à l'ancien directeur Christian PIHET et au nouveau directeur, le Pr Philippe DUHAMEL, de Laboratoire ESO-Angers de l'Université d'Angers de m'avoir accepté dans leur établissement.

Cette étude a été financée par un Project de Coopération Scientifique Interuniversitaire et le programme de bourse de doctorat de l'AUF de 2010-2012. J'ai également bénéficié du soutien matériel et technique du Projet Planet Action (Spot Image et UNESCO et de leurs partenaires ESRI et ITT) et du Laboratoire ESO-Angers et LETG-Angers LEESA. Un financement de la Commission de l'Océan Indien (COI) m'a été accordé pour les Doctoriales 2012 des îles de l'Océan Indien organisées par les Ecoles Doctorales de l'Université de La Réunion. Les deux dernières années de la

thèse (2012-2014) ont été subventionnées par le Gouverneur de l'île autonome d'Anjouan, Anissi CHAMSIDINE qui a accordé beaucoup d'importance à cette recherche. Je lui en suis redevable.

Je remercie les institutions partenaires du PCSI et leurs représentants scientifiques : Le Laboratoire de Biologie et d'Ecologie Végétale de l'Université d'Antananarivo représenté par le Dr. ROGER Edmond, la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université des Comores à travers le Dr. Ahamadi DAROUSSI OILI, l'UMR 5185 CNRS ADES de l'Université de Bordeaux 3 en la personne du Pr Laurent COUDERCHET, l'UFR des Lettres, Langues et Sciences Humaines de l'Université d'Angers à travers le Pr Aziz BALLOUCHE et le Dr. Aude Nuscia TAÏBI (MCF), l'ONG SOS Espoir et le CNDRS qui ont été respectivement représentés par IBRAHIM Saïd et le Dr AINOUDDINE Sidi (Maître de Conférences). J'ai aussi une pensée particulière pour le regretté Pr Jean-Noël LABAT qui représentait le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris dans le PCSI.

Je suis profondément redevable envers Madame Sigrid JIFFON et Monsieur Benjamin DOLFO, deux ingénieurs en SIG qui, avec générosité, ont maintes fois interrompu leurs travaux pour répondre à mes questions ou me porter assistance en cartographie au Laboratoire ESO-Angers.

Un grand merci au Dr. David LANDRY, Maître de Conférences en Sciences du sol de l'Institut Universitaire de Technologie et du LEESA ; il m'a transmis son savoir sur les techniques d'échantillonnages pédologiques et d'analyses des sols en laboratoire et m'a prodigué des conseils sur le choix du matériel du terrain indispensable en pédologie.

Ma reconnaissance va également au Dr. Mustapha EL HANNANI, Maître de Conférences au Laboratoire ESO-Angers, qui m'a toujours orienté sur la bonne voie, celle de la recherche et de la réussite. Ses conseils me sont toujours très utiles.

Je pense au Dr. OULEDI Ahmed, ancien doyen la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université des Comores de l'intérêt qu'il a manifesté dans cette recherche par ses conseils et son aval à la participation de sa faculté au PCSI.

Merci aux villageois des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni qui m'ont considéré comme l'un des leurs durant mon séjour sur le terrain et qui ont consacré du temps pour répondre à mes questions. J'adresse ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont tenu compagnie sur le terrain : MOHAMED Abou (environnementaliste), ANRIFI (Géographe), Ayoub MOUSSA alias Havé (paysan), Mouhamadi HOUMADI (paysan), Mouhamidi dit Anoi (élève et jardinier), Amdjad (agent forestier), Mhamadi alias André (jardinier et plongeur), etc.

Je n'oublierai pas la Direction de l'Environnement d'Anjouan auprès de laquelle j'ai exercé en tant que chargé de SIG et de la gestion de la biodiversité. Mes pensées s'orientent surtout vers LE Directeur Halidi AHMED BEN ALI et Hadim SOIDRI (forestier) qui, par leur expérience, m'ont apporté des informations pertinentes concernant l'environnement aux Comores. Mes sincères remerciements à la Directrice technique des Eaux et Forêts, Madame Zalhat BACAR pour avoir accepté de relire plus de la moitié de mon manuscrit.

Je témoigne ma gratitude à Monsieur DAVID Lucien, enseignant chercheur à l'Université de Toliara d'avoir sacrifié son temps pour relire et corriger mon travail en un temps record.

Ma cordialité se manifeste à l'égard des frères malgaches et comoriens : Francis Roberto VERIZA, enseignant géographe à l'Université de Toliara, Soid'hane MAOULANA (géographe) et Iftah MAOULANA (enseignant de français) et à Zakaria Mohamed GOU (hydrogéologue) avec qui j'ai échangé mes points de vue.

Egalement, je n'oublierai pas l'accueil fraternel qui m'a été réservé par ABELARDINE Souniadj et YOUSRA Abdou Moustakim durant mon séjour à Toliara.

Je témoigne ma reconnaissance à la communauté estudiantine comorienne de Toliara, elle m'a largement soutenu pour l'organisation de la soutenance.

Une pensée affective aux familles malgaches, plus particulièrement à celles de Dr. JAOFETRA Tsimihato, Maître de Conférences et vice-président de l'Université de Toliara ainsi qu'au Pr RAZAKAMANANA Théodore qui m'ont toujours encouragé à poursuivre les études.

Enfin, j'adresse ma reconnaissance particulière et affective à tous les miens pour le soutien moral et financier qu'ils m'ont apporté durant cette recherche.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette recherche soient rassurés de ma profonde reconnaissance.

Acronymes

AFD	Agence Française de Développement
AHT	AGRAR - UND HYDROTECHNIK GMBH
BAD	Banque Africaine de Développement
CBNM	Conservatoire Botanique National de Mascarin
CGP	Commissariat Général au Plan
CMED	Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement
DGE	Direction Générale de l'Environnement
DHP	Diamètre à Hauteur de Poitrine
DNR	Direction Nationale du Recensement
ECDD	Engagement Communautaire pour le Développement Durable
FADC	Fonds d'Appui au Développement Communautaire
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FOFIFA	Foibe Fikarohana momba ny Fambolena (Centre national de la recherche appliquée au développement rural)
GEF	Global Environment Facility (FEM : Fonds pour l'environnement mondial)
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GPS	Global Positioning System
HDC	Herbier Des Comores
HM	Hauteur Maximale
IFN	Inventaire Forestier National
IGN	Institut Géographique National
IDR	Indice de Diversité Relative
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IRAT	Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières
IU	Indice d'Utilisation
LEESA	Laboratoire d'Etudes Environnementales des Systèmes Anthropisés
LETG	Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique
MAPE	Ministère de l'Agriculture, de la Pêche, de l'Environnement chargé de l'Énergie, de l'Industrie et de l'Artisanat
MARP	Méthode Accélérée de Recherche Participative
MDRPAE	Ministère du Développement Rural, de la Pêche, de l'Artisanat et de l'Environnement
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MPE	Ministère de la Production et de l'Environnement
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OCB	Organisation Communautaire de Base
PAEPA	Projet d'Alimentation en Eau Potable et d'Assainissement
ProGeCo	Programme Régional de la Gestion durable des zones Côtières
SGM	Service Géographique de Madagascar
SIG	Système d'Information Géographique
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UCEA	Union des Comités de l'Eau d'Anjouan
UICN	Union mondiale pour la nature (IUCN: International Union for the Conservation of Nature)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS 84	World Geodetic System 1984

Introduction générale

« *La rareté de l'eau douce et son emploi inconsidéré compromettent de plus en plus gravement la possibilité d'un développement écologiquement rationnel et durable* ». Tel est le constat fait lors de la Conférence Internationale sur l'Eau et l'Environnement tenue en janvier 1992 à Dublin. Il faut ajouter que les excès hydrologiques, responsables de glissements de terrain, de laves torrentielles, de crues extrêmes, d'inondations,... compromettent également la croissance économique des pays en développement. Qu'elle soit en déficit ou en excès, l'eau est aujourd'hui, et plus que jamais, au cœur des questions de développement pour toute société. Cependant la maîtrise de cette ressource, de sa circulation, de son cycle, pose de multiples problèmes d'ordre économique, écologique, social, politique. Or, pour maîtriser ce cycle de l'eau dans un bassin versant, il faut d'abord connaître la géographie de celui-ci [Lambert, 1986], d'où l'intérêt de la présente recherche sur les « *Dynamiques d'évolution des géosystèmes en milieu tropical humide insulaire : Approche par les bassins versants d'Anjouan aux Comores* ».

Après le cyclone de 1950 qui avait sévèrement affecté le secteur agricole à Anjouan, les préoccupations des Autorités coloniales puis de l'Etat comorien après l'indépendance de 1975, se sont focalisées sur la préservation des sols contre leur dégradation. C'est dans ce souci qu'un premier rapport intitulé « *Inventaire des terres cultivables et de leurs aptitudes culturelles* » sous la direction de Brouwers a été publié par l'IRAT¹ en 1973. A cette époque, aucun problème d'alimentation en eau n'a été signalé comme l'avaient déjà indiqué Saint Ours et Pavlovsky [1953]. Ce constat est de nouveau confirmé 38 ans après par Marini [1990] : « Il y a une dizaine d'année, l'île d'Anjouan ne rencontrait pas ou peu de problème d'eau ». Dans les années 1960-70, la majorité de la population d'Anjouan (90 %) était raccordée à un réseau d'adduction d'eau captée à partir de rivières et de sources approvisionnant presque toutes les localités [DGE², 1993].

C'est à partir des années 1980 que les soucis d'approvisionnement en eau commencent à se faire sentir, surtout en milieu urbain anjouanais. Les termes « assèchement » et « tarissement » des cours d'eau, des sources et des ruisseaux font leur apparition dans plusieurs documents officiels : Stapleton [1986], DGE [1993], MPE [2001], Frenken [2005], MDRPAE [2006], etc. En 1993, la DGE signale que la situation devient

¹ IRAT : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières

² DGE : Direction Générale de l'Environnement

alarmante du fait d'un assèchement des rivières et des sources³ et d'un manque d'entretien des réseaux, le plus souvent vétustes et sous-dimensionnés par rapport à la croissance de la population. Dans son rapport publié en 2005 sous la direction de Frenken [2005], la FAO tire la sonnette d'alarme : « *Anjouan fait actuellement face à un grave problème de disparition de ses ressources en eau superficielles. Alors que 49 cours d'eau pérennes étaient recensés en 1950, en 1970 il n'y en avait déjà plus qu'une trentaine et, d'après les statistiques, il ne resterait plus aujourd'hui qu'une dizaine de cours d'eau permanents* ». Les institutionnels sont censés trouver des explications à ce phénomène. Dans la plupart des documents officiels, un raisonnement classique, en quelque sorte tripolaire est fréquent : forte pression démographique et déforestation expliquent l'assèchement ou le tarissement. Les statistiques confirment la croissance démographique mise en évidence dans cette île de 424 km². La population est passée de 83 829 en 1966 [INSEE, 1968]⁴ à 243 732 en 2003 [DNR, 2005]⁵ correspondant à une densité de 197,7 hab/km² à 574,8 hab/km² supérieure à celle de l'échelle nationale estimée à 309,1 hab/km² en 2003. Le rapport du MPE [2001] sur le bilan et les perspectives du Plan d'Action Environnementale précise que cette « forte pression démographique » entraîne une « dégradation généralisée des ressources ». D'après le même rapport, celle-ci se marque de différentes façons, et principalement par la « déforestation massive » avec comme conséquences « l'assèchement des rivières et le tarissement de nombreuses sources [...] ». Les estimations confirment également que la couverture forestière a reculé ; elle est passée de 8000 ha en 1974 [DGE, 1993] à 1178 ha en 1995 [Amir, 2006]. Dans ce contexte, la déforestation est pointée comme la raison principale non seulement dudit « assèchement » mais aussi des processus d'érosion des sols et des inondations.

On constate qu'à partir des années 1950, la dégradation des sols par les pratiques culturales constituait un souci majeur des Autorités. Dans les années 1980, la problématique de l'eau émerge et vient s'associer à cette première préoccupation. Selon la FAO [2008], « l'utilisation des terres se répercute sur le régime hydrologique et sur la qualité de l'eau en aval. L'importance de cet impact varie selon le type d'utilisation des terres, la superficie du bassin, le climat, les caractéristiques du sol, la topographie, la géologie, etc. (Bosch et Hewlett, 1982; Bruijnzeel, 1990; Calder, 1999) ». Or, on

³ « Des informations non vérifiées font état d'une réduction du nombre de cours d'eau permanents de 45 à 19 entre 1950 et 1990. Ce phénomène général observé est une diminution du débit des rivières, dont la cause principale serait la déforestation massive des versants, des sources et des galeries forestières ».

⁴ INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

⁵ DNR : Direction Nationale du Recensement

remarque que tous les documents officiels aux Comores se limitent à pointer l'impact de la déforestation sur l'eau (déficits et excès) et que les auteurs ne perçoivent pas la problématique sous l'angle systémique de la FAO, c'est-à-dire notamment à l'échelle des bassins versants qui est, en principe, considérée comme « l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets » [Musy, 2009]. Face à ce raisonnement réducteur, on peut se demander : comment expliquer ledit assèchement des cours d'eau à Anjouan avec « une saison sèche peu marquée » [Brouwers, 1973] et des moyennes pluviométriques de 1500 mm à plus de 2500 mm à partir de 600 m d'altitude [DGE, 1993] ?

De l'échelle locale à l'échelle internationale, des mobilisations ont eu lieu au sujet de la problématique de l'eau, notamment avec la promulgation de la *Loi N° 94-037 du 21 décembre 1994 portant code de l'eau* aux Comores. Par la suite, fût créée à Anjouan en 2011 la Direction de l'Eau et de l'Energie qui collabore avec le projet pilote PAEPA⁶ financé par la BAD⁷. La Direction de l'Environnement et des Forêts a mis en place des opérations de reboisements. Elle coordonne également avec le projet GIRE⁸ du bassin versant de Mutsamudu financé par le GEF⁹. Créée en 2001, l'UCEA¹⁰ œuvre pour la sensibilisation et les actions (pilotage de projet Eau Potable de la Péninsule de Sima financé par l'AFD¹¹) en faveur de l'eau. Une volonté politique est, depuis lors, affichée pour trouver une solution à cette problématique de l'eau. Ainsi, dans son discours du 22 mars 2014 à l'occasion de la fête de la « Journée Mondiale de l'Eau » marquée par une cérémonie de remise des ouvrages du projet Eau Potable de la Péninsule de Sima, le gouverneur de l'île, Anissi Chamsidine, prononçait :

« L'accès à l'eau potable est un besoin fondamental universel. C'est la raison pour laquelle il figure parmi les Objectifs du Millénaire pour le Développement. [...] Je lance donc un appel solennel [...] auprès du Chef de l'Etat et de nos partenaires pour soutenir l'idée de l'organisation d'une Conférence Nationale de l'Eau, qui réunirait régulièrement les autorités nationales et insulaires en charge de ces questions et nos partenaires au développement pour garantir cette coordination... ».

Cependant, malgré ces constats alarmants et la volonté des Autorités du pays de parvenir à une solution aux problèmes de l'eau à Anjouan, aucune recherche n'a réellement

⁶ PAEPA : Projet d'Alimentation en Eau Potable et d'Assainissement

⁷ BAD : Banque Africaine de Développement

⁸ GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

⁹ GEF : Global Environment Facility (FEM : Fonds pour l'environnement mondial)

¹⁰ UCEA : Union des Comités de l'Eau d'Anjouan

¹¹ AFD : Agence Française de Développement

été réalisée pour comprendre les processus à l'œuvre [Mirhani *et al.* 2014]. En réalité, les origines du phénomène sont loin d'être identifiées, et notamment pas d'une façon systémique pour pouvoir faire face aux conséquences déjà effectives de la diminution des ressources en eau, des glissements de terrains, de l'augmentation des crues brutales, ainsi qu'aux défis du changement climatique global. Or, pour tenir une Conférence Nationale suivie d'un véritable débat politique sur l'eau, en réponse à l'appel des Autorités, le pays doit être doté d'un document scientifique de base pour éclairer toute discussion. Tel est l'un des objectifs globaux de cette thèse qui apporte également une contribution locale au suivi du Chapitre 18 : « *Protection of the quality and supply of freshwater resources : application of integrated approaches to the development, management and use of water resources* »¹² de l'Agenda 21 de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le développement tenu en juin 1992 à Rio de Janeiro au Brésil. Conformément au programme d'action défini lors de la Conférence Internationale sur l'Eau et l'Environnement de Dublin tenue en janvier 1992, cette recherche vise aussi à « établir une base de connaissances » qui fait défaut à Anjouan et à prévoir les risques environnementaux relatifs à la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants. Elle peut aussi s'inscrire dans le cadre de la Politique Nationale de l'Environnement dont l'objectif principal est d'assurer une gestion durable et rationnelle des ressources naturelles et définir ou renforcer les politiques sectorielles. Enfin, ce travail vise à proposer des éléments de réponse aux attentes des communautés locales des bassins versants concernés par les aménagements.

L'objectif spécifique de cette recherche est de mettre en œuvre une approche méthodologique multi-source et multi-échelle reproductible et adaptable pour les études du fonctionnement hydrologique des bassins versants en milieu tropical humide insulaire. Cette méthode est utilisée, dans une approche diagnostique, pour déterminer comment Anjouan en est arrivée à cet état de perturbation du fonctionnement hydrologique de ses bassins versants et, dans une approche prospective, pour esquisser un modèle d'aménagement approprié à l'interface société/nature.

Atteindre de tels objectifs implique un important travail bibliographique et webographique. Cette thèse doit beaucoup aux enseignements de Brouwers [1973], Emberger *et al.* [1983], [Bertrand & Bertrand, 2002], Charmoille [2013], etc. L'approche de terrain est cependant au cœur de la démarche scientifique. Les travaux sur le terrain

¹² Protection des ressources en eau douce et de leur qualité : application d'approches intégrées de la mise en valeur, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau.

débutés le 20 décembre 2010 se sont poursuivis jusqu'au 03 novembre 2012 et au-delà par de courtes visites de terrain pour complément d'informations jusqu'en mai 2013. L'étude a exigé des travaux en laboratoire qui ont été effectués en alternance à l'Université d'Angers (SIG, télédétection, pédologie). Cette démarche a conduit à une double approche naturaliste et de sciences sociales. La première est consacrée à des prospections, des relevés écologiques, des traitements des données spatiales et statistiques climatiques. La seconde se focalise sur des enquêtes pour mettre en évidence les représentations paysagères des acteurs, un recueil des témoignages sur la trajectoire paysagère des bassins versants, des enquêtes ethno-botaniques et ethno-taxonomiques des plantes et des sols et pour définir des critères d'évaluation de la vulnérabilité sociale de la flore. Ces deux approches sont fédérées par le concept géosystème, au sens de G. Bertrand, qui met « en évidence l'interaction entre les composantes biotiques, abiotiques et anthropiques dans les bassins versants ».

La problématique centrale de cette recherche tend à interroger la multi-causalité de la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants d'Anjouan, en essayant de mettre en évidence les mythes et les réalités de la question. De ce fait, nous postulons que la recherche d'une solution à cette problématique passe par la conception d'un modèle d'aménagement intégré.

Pour atteindre nos objectifs et répondre à la problématique, l'exploitation de différentes sources de données nous a conduit à l'élaboration d'une thèse en trois parties.

La première partie est consacrée au milieu d'étude et à la méthodologie. Elle décrit d'une façon générale le milieu physique et biophysique d'Anjouan et développe la méthodologie et les concepts sur lesquels elle s'appuie. Par la suite, en fonction de la nature du milieu et de la méthodologie, deux bassins versants pilotes à comportements et à caractères hydrologiques différents ont été choisis pour l'étude : Ouzini-Ajaho (rivière avec écoulements discontinus) et Lingoni-Pomoni (petit fleuve permanent). Ils font l'objet de la deuxième partie qui fait une analyse descriptive et comparative des composantes géosystémiques de ces deux bassins versants ainsi que de leurs dynamiques d'évolution pour identifier les facteurs de la perturbation du fonctionnement hydrologique. L'identification de ces facteurs ouvre ensuite la voie à la recherche d'un outil d'aménagement qui structure la troisième partie. Cette dernière essaie de concilier les regards des groupes fonctionnels de la société sur certaines composantes géosystémiques et s'appuie sur les connaissances de la thèse pour établir un modèle d'aménagement s'appuyant sur nos résultats scientifiques et les spécificités sociales du terrain.

Partie I.

Le terrain et les outils méthodologiques

Chapitre I. Anjouan, un espace atelier

Chapitre II. La méthodologie : une approche naturaliste et sociale

Chapitre I. Anjouan, un espace atelier

I.1- La situation géographique et administrative

Anjouan qui fait l'objet de cette étude est une île volcanique tropicale humide de l'archipel des Comores constitué de quatre îles – Grande-Comore (Ngazidja), Anjouan (Ndzuwani), Mayotte (Maoré) et Mohéli (Mwali) – et d'îlots. Dans la zone 38 Sud de l'Océan Indien, l'archipel se localise entre 11°10' - 13°10'S et 43°00' - 45°30'E à l'entrée Nord du Canal de Mozambique entre l'Afrique orientale et Madagascar. Il est à 300 km de la côte mozambicaine et à 330 km de celle de Majunga. Quant à l'île d'Anjouan, elle se situe entre 12°00' - 12°28'S et 44°07' - 44°38'E. Elle occupe une position centrale dans l'archipel et coupe l'axe Ngazidja-Maoré de direction WNW-ESE. Elle est à 82 km à l'ESE de la Grande-Comore, à 42 km à l'Est de Mohéli et à 68 km au NO de Mayotte (figure 1).

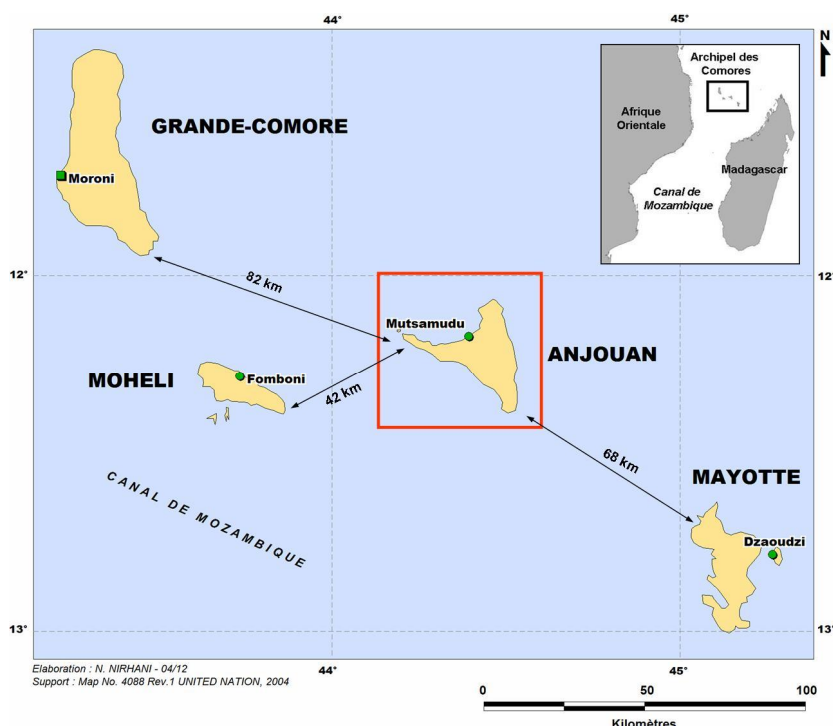


Figure 1-Anjouan dans l'archipel des Comores

Si l'on se réfère à la base de données mondiale DIVA-GIS, Anjouan avec son îlot Chissiwa mbouzi (0,52 km²) totalise environ 434 km² de superficie¹³. Elle est la deuxième île après la Grande-Comore dont l'étendue est de 1026 km², Mayotte est la troisième avec

¹³ Pour éviter des confusions, nous utiliserons dans cette recherche la superficie de 424 km² figurant dans les documents officiels de l'Union des Comores

374 km² et Mohéli, la plus petite, couvre avec ses îlots une superficie de 220 km². L'archipel totalise environ 2054 km² de superficie. Anjouan n'en couvre que 21 % avec sa forme triangulaire limitée par une côte de 154 km de long.

Administrativement, Anjouan est une île autonome de l'Union des Comores dont la capitale est Moroni. Son territoire est divisé en 5 préfectures (Mutsamudu, Ouani, Domoni, Mrémani et Sima) réparties en 20 communes (*figure 2*) qui comptent 93 localités pour 300241 habitants selon une projection de 2012 [Mirhani, 2013].

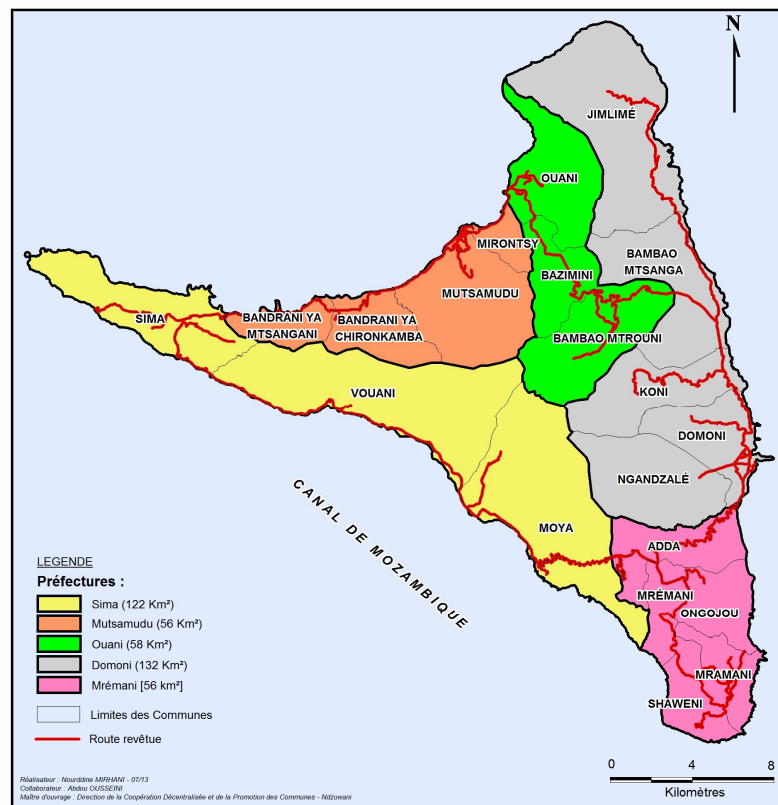


Figure 2- Découpage administratif d'Anjouan

I.2- Le cadre physique

I.2.1- L'état des connaissances

En 1953, Saint Ours & Pavlovsky publient un rapport et des cartes de reconnaissances au 1/200 000 sur la géologie de l'archipel des Comores. En 1986, Nougier *et al.*, cités par Debeuf [2004], ont réalisé une cartographie succincte de l'île et ont précisé les datations de trois phases volcaniques. En 2004, le Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de La Réunion a établi une carte non publiée qui donne plus de détails pétrographiques. En 2009, la société Parskani [2009] a dressé une carte qui apporte des précisions sur les ressources minérales. Quant à l'hydrogéologie, il a fallu attendre 2013 pour qu'un rapport sur l'«ébauche du fonctionnement hydrogéologique de l'île

d'Anjouan » soit publié par Charmoille dans le cadre du projet ECDD¹⁴ après une mission du terrain effectuée en août 2012. Dans ce rapport, l'auteur s'est référé aux particularités hydrogéologiques des îles volcaniques, aux investigations hydrochimiques et à quelques données hydrauliques disponibles pour élaborer un schéma de fonctionnement hydrogéologique de l'île d'Anjouan. Il a engagé une discussion sur l'impact de la déforestation sur les ressources en eau et a fait des propositions pour la gestion des ces ressources. Mais aucun sondage géophysique n'a jusqu'à présent été réalisé à Anjouan. Des recherches ont cependant été effectuées dans les autres îles de l'archipel pour ne citer que celles de Saint Ours & Pavlovsky [1953], de Boinali [1982] en Grande-Comore, de Jourdain *et al.* [2002] à Mayotte, etc. Les distances séparant ces îles sont données à la figure 1.

I.2.2- Un relief accidenté

D'une structure polyédrique à base triangulaire, Anjouan comprend trois domaines morphologiques : un massif central élevé et accidenté, une façade littorale avec des plaines restreintes et trois péninsules au Nord, à l'Ouest et au Sud (*figure 3*).

Un massif central élevé et accidenté

Le massif central d'Anjouan est sculpté par une intense érosion. Les coulées volcaniques anciennes qui donnent les points culminants (Ntringui à 1595 m et Trindrini à 1474 m d'altitude) ont été découpées en crêtes généralement aigües ou, pour le moins, très étroites. Ces crêtes s'élèvent d'un seul jet à quelques 500 m au-dessus d'une série de dépressions intérieures [Tricart, 1972]. Ces dernières correspondent à des cratères anciens ou à des dépressions fermées et/ou des cirques (Bambao et Ouzini à l'Est, Pomoni au Sud-ouest, etc.) et des gorges encaissées (vallées de Lingoni au Sud-Ouest, d'Ouzini à l'Est, etc.). La plupart des vallées qui sont extrêmement étroites et encaissées rendent impossible leur cartographie avec des données SRTM¹⁵ à la résolution de 90 m.

Le centre Sud-Ouest reste le plus accidenté de l'île. Les pentes fortes à très fortes de 26° à plus de 45° dominant le massif central (*figure 4*). Les foirages, les coups de cuillère et les coulées boueuses sont fréquents sur ces pentes raides, plus particulièrement Ntringui [Tricart & Kilian, 1979].

¹⁴ ECDD : Engagement Communautaire pour le Développement Durable.

¹⁵ SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

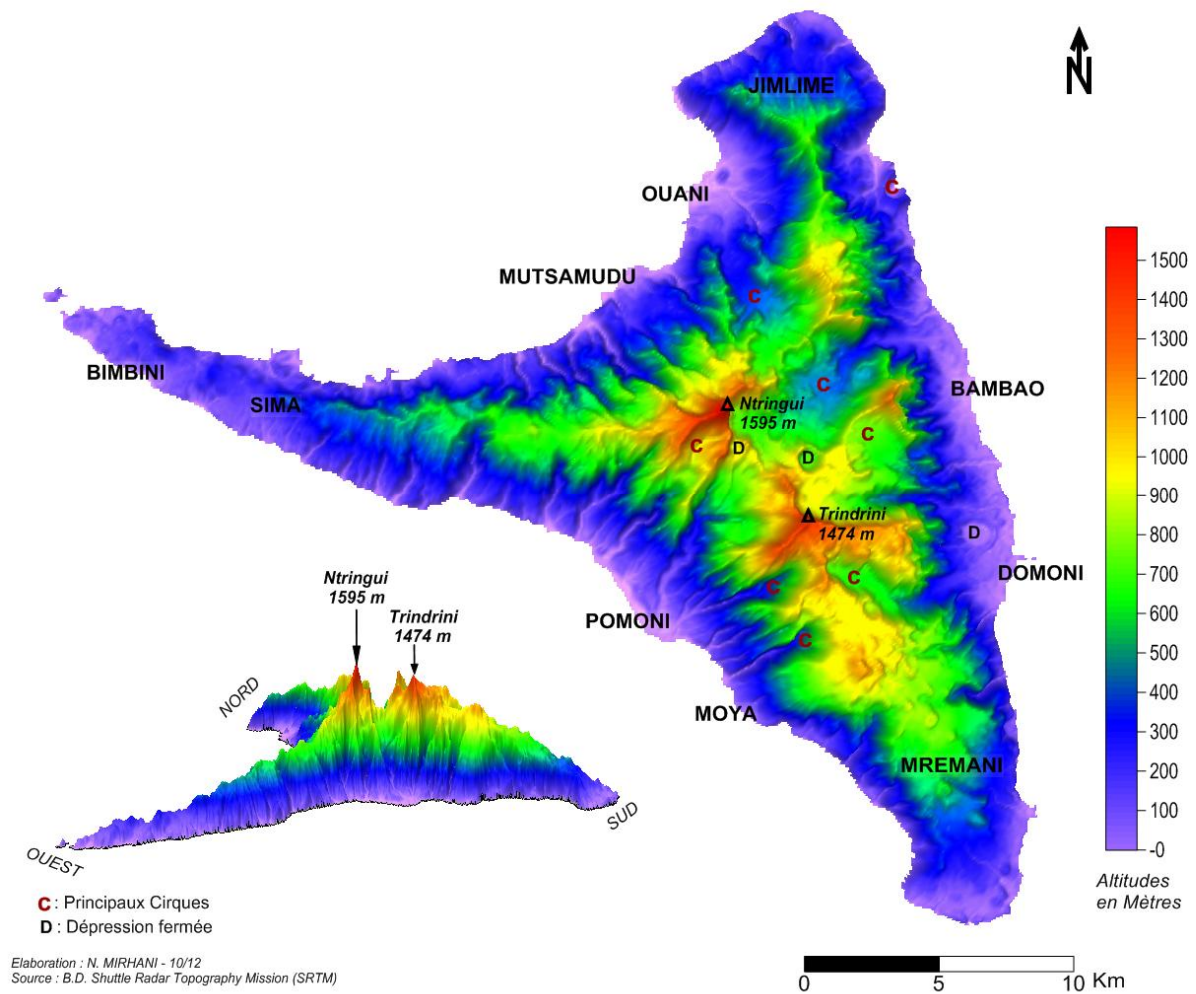


Figure 3- Relief d'Anjouan

Une façade littorale avec des plaines restreintes

Coulées et planèzes dominent directement le rivage, ne laissant place que très localement à des plaines côtières de taille réduite qui, dans l'ensemble, représentent moins de 3% de la surface totale de l'île [Brunhes & Dandoy, 1978]. Les plus importantes sont les plaines de Bambao et Domoni à l'Est, d'Ouani et Mutsamudu au Nord-Ouest, de Pomoni au Sud-ouest et de l'extrême Sud. En général, elles se situent à moins de 100 m d'altitude, leur largeur dépasse rarement 1 km et leurs pentes varient de nulle à moyenne (0° à $13,59^\circ$) (figure 4). Le taux de drainage y est de ce fait nul à moyen. Certaines de ces petites plaines côtières sont donc sujettes à des inondations comme ce fut le cas à Mirontsy le 13 février 2013. Le littoral présente cependant, des secteurs de côte plus élevée formant des falaises surplombant la mer.

Les trois péninsules

Jimlimé au Nord, Mrémani au Sud et Sima à l'Ouest forment des mîles de 500 à 700 m d'altitude, des plateaux ondulés limités par des parois abruptes sur la mer et entaillés de profonds ravins [Saint Ours & Pavlovsky, 1953]. Les pentes nulles à assez faibles (0 à 26,06°) dominent le relief (*figure 4*).

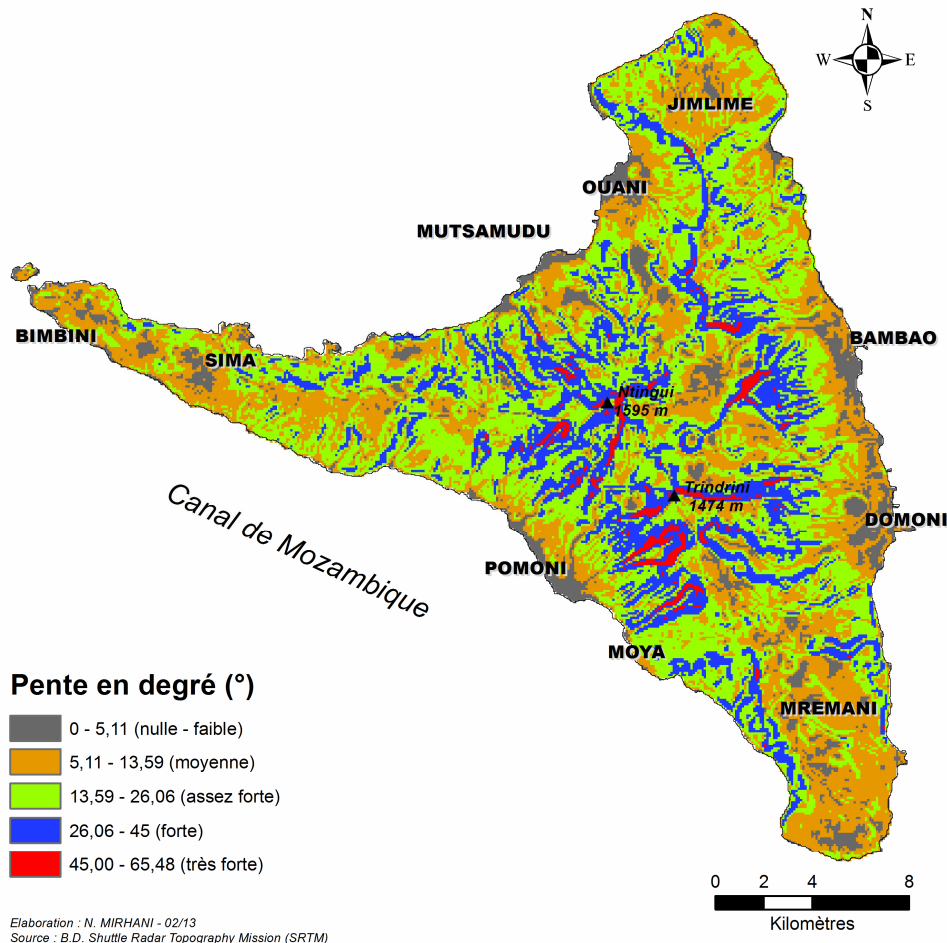


Figure 4- Pentcs d'Anjouan cartographiées à une résolution de 90 m

I.2.3- La genèse : les « trois paroxysmes volcaniques »

Dans l'ensemble de l'archipel des Comores, trois principales phases volcaniques ont été définies par Saint Ours & Pavlovsky [1953], « Esson *et al.*, [1970] puis Flower [1973] » cités par Charmoille [2003a], Debeuf [2004] et de la carte géologique du Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de La Réunion (*figure 5*). Elles ont mis en place 3 séries de formations géologiques dominées par des laves à faciès basaltiques. Une carte sommaire établie par Nougier *et al.* 1986 [*cf.* Debeuf, 2004] précise leur datation. En s'appuyant sur les travaux évoqués plus haut et sur ses observations sur le terrain, Charmoille [2013a] détaille les différentes phases de structuration de l'île tout en privilégiant la thèse d'une formation géologique en trois phases (*figures 5 & 6*) :

- **Les séries récentes** correspondent à une longue période d'érosion qui remonte de 2,5 à 1,5 Ma. De « profondes vallées se sont creusées, formant un relief très escarpé comparable à celui observable aujourd'hui. La phase d'éruption tardive n'a pas fondamentalement modifié la structure générale de l'île. Les coulées volcaniques sont venues remplir les vallées creusées par l'érosion se déposant en discordance sur les terrains et les formations déjà présentes et notamment les produits d'érosion-sédimentation tels que les zones alluvionnaires (Flower, 1973) » [Charmoille, 2013a]. Il s'agit de laves à texture fluide de nature téphritique et riches en amphibolite brune, couvrant 7 % de l'île. Elles se localisent au NNO et NO entre les localités de Ouani et Bazimini ainsi qu'entre Bandrani et Sima, au Centre SO à Pomoni et au NO de cette localité et à l'Est du côté de Bambao et Domoni.

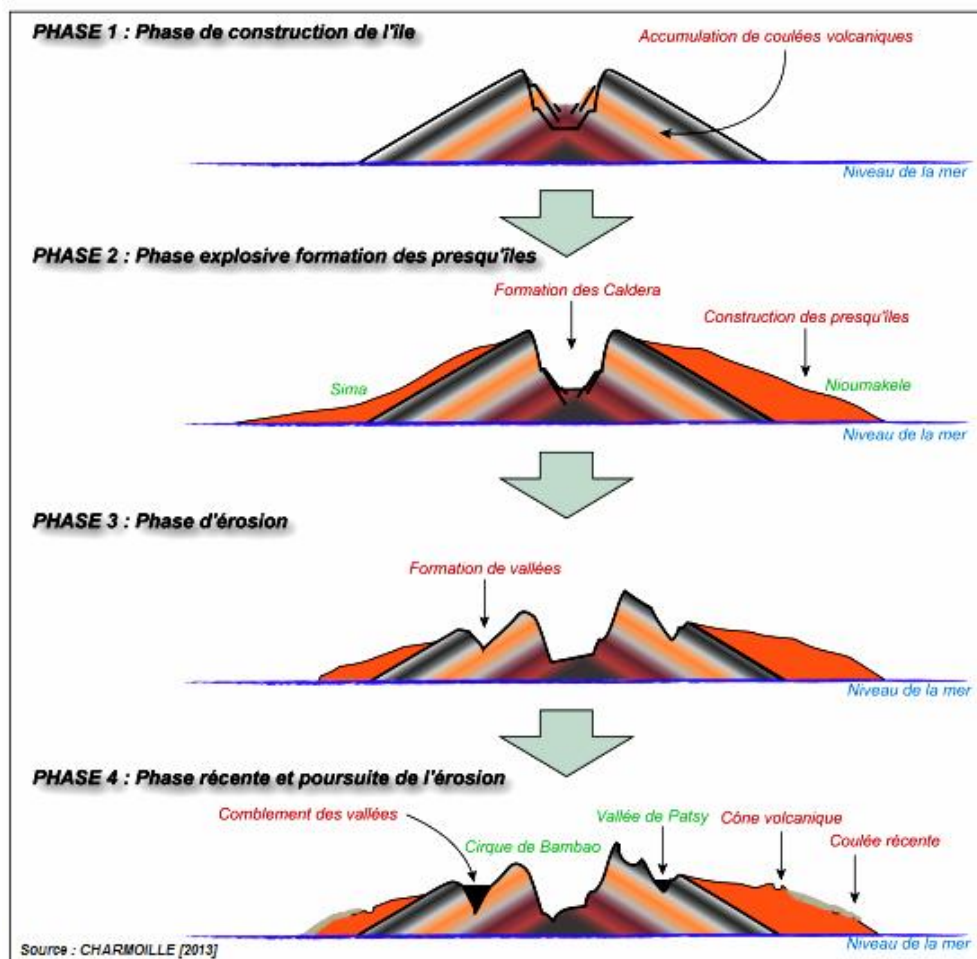


Figure 5- Les différentes phases de formations de l'île d'Anjouan

- **Les séries intermédiaires** correspondent aux formations « post-bouclier » qui remontent de 2 à 4 Ma. Ce sont des basaltes à olivine et cliopyroxène qui se répartissent pour l'essentiel sur 31 % de l'île. Ils forment les trois presqu'îles de Sima à l'Ouest, de Jimlimé au Nord et de Mrémani au Sud. D'après Flower [1973] cité par Debeuf [2004], ces

dernières sont constituées de coulées dont les pendages paraissent divergents depuis le cœur de l'île.

- **Les séries anciennes** (de plus de 5 Ma) correspondent aux formations du « bouclier ». Elles forment le noyau central d'Anjouan et sont constituées de laves à faciès porphyriques à phénocristaux (olivine, pyroxène et plagioclase) couvrant 29,6 % d'Anjouan. Ce paroxysme volcanique a été suivi d'une longue période de dissection et d'altération de type ferrallitique.

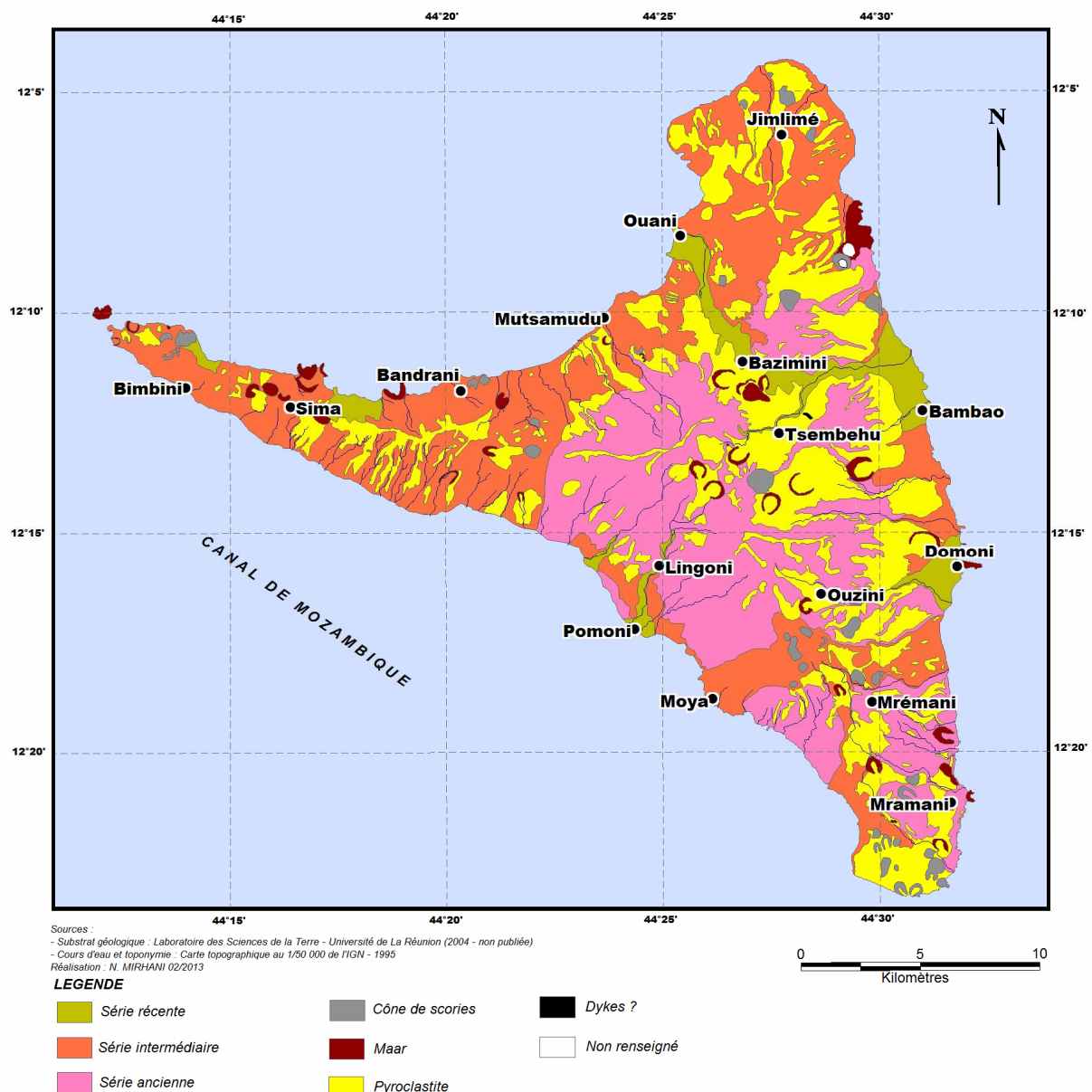


Figure 6- Structure géologique d'Anjouan

I.2.4- Le fonctionnement hydrogéologique

Une première typologie de l'ensemble des ressources en eaux souterraines d'Anjouan a été dressée par Charmoille [2013a]. Nous présentons le résumé de ses travaux avec les figures montrant la structure et le fonctionnement des aquifères identifiées :

- des nappes d'eau souterraines (figure 7a)

Elles sont constituées principalement par les terrains mis en place lors de la construction du noyau central de l'île et les deux premières phases volcaniques illustrées par la figure 5. Ces nappes d'eau souterraines sont drainées par des sources présentes sur les versants de l'île et alimentent les différents cours d'eau. Les émergences observées sur des basaltes sains dans les fonds de vallées de Lingoni, d'Ouzini et d'Ajaho, etc. témoignent de l'existence de ces réserves d'eau et de leur connexion probable avec les cours d'eau.

- des nappes aquifères perchées (figure 7b)

Elles sont constituées par les cônes volcaniques scoriacés et les coulées basaltiques de la dernière phase volcanique. Ces matériaux se sont déposés à la surface de l'île après une longue phase d'érosion. Ils constituent des aquifères perchés, autant dans la partie centrale de l'île (source de Mromi à Outsa de Magouni à Ouzini se trouvant à plus de 700 m d'altitude) que sur les presqu'îles : source de Mabougani et Dzindri de bas dans la presqu'île de Sima, etc.

- de petites nappes alluviales côtières (figure 7c)

L'alimentation de ces nappes se fait par les précipitations et par l'infiltration des cours d'eau qui circulent en surface. Il est également supposé que leur partie amont bénéficie des apports de l'aquifère principal. Ces petites nappes alluviales, pouvant être atteintes à faible profondeur par endroit à Pomoni (exemple de 1 m), sont seulement exploitées pour le maraîchage.

- des nappes aquifères de coulée de vallée (figure 7d)

Ce type d'aquifère pourrait constituer une ressource intéressante, d'autant que la base de type de coulée déposée après une phase d'érosion recouvre des dépôts alluviaux fluviaux présentant une perméabilité d'interstices avec généralement de bonnes propriétés aquifères.

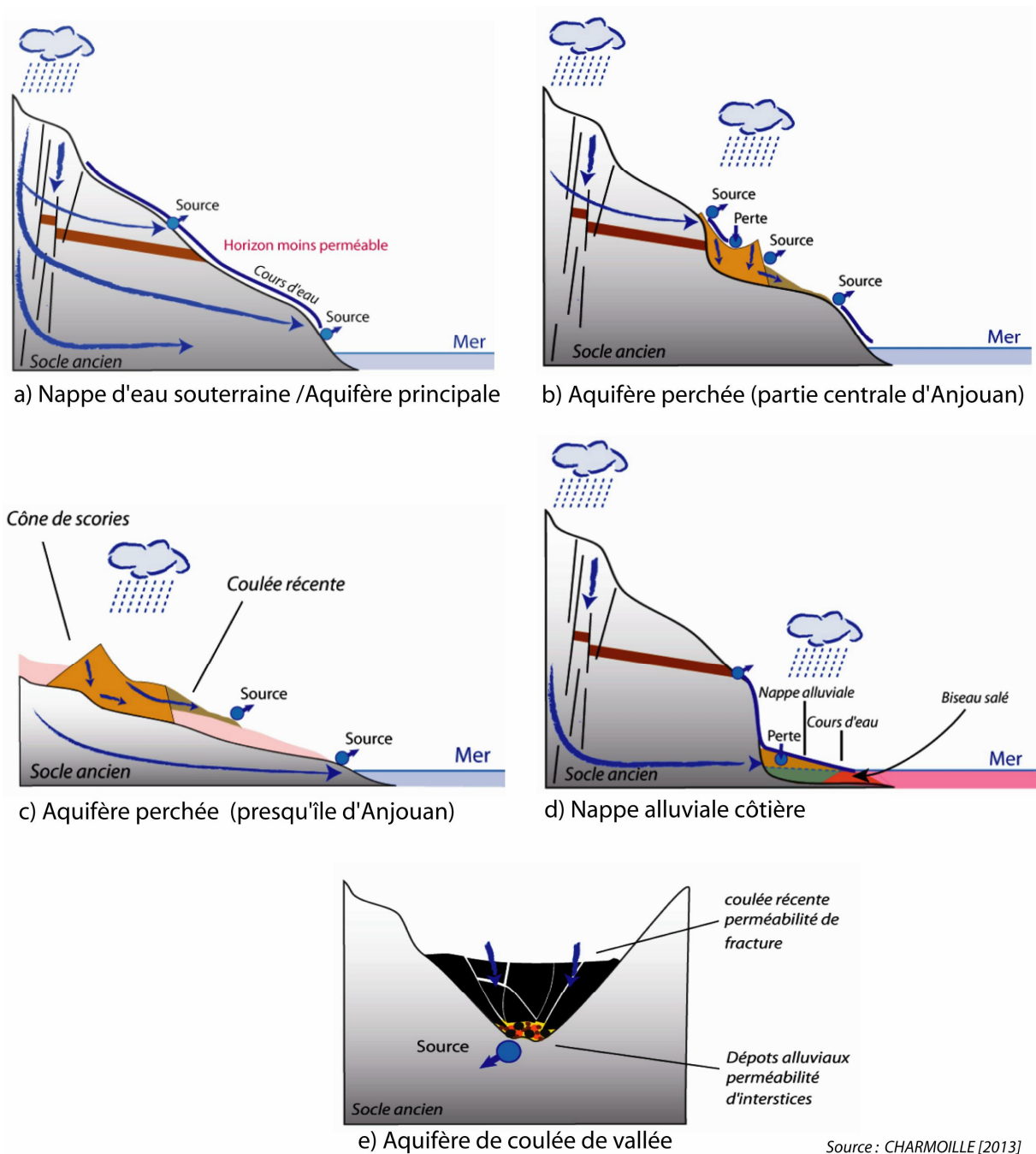


Figure 7- Les cinq types d'aquifères identifiées à Anjouan

La figure 7 montre que les mécanismes d'alimentation des cours d'eau par les aquifères se déroulent à travers les différentes formations géologiques des phases volcaniques ancienne, inférieure et récente (figure 6). Or, il existe une différence fondamentale entre les produits du volcanisme ancien et moyen, affectés par une intense altération ferrallitique tronquée à des degrés variables, et les matériaux accumulés par la phase de volcanisme plus récente, qui ne sont jamais ferrallitisés [Tricart & Kilian, 1979]. La perméabilité moyenne des formations géologiques est notamment variable selon leur

nature et leur âge. Le vieillissement du matériel basaltique et les processus de compaction ainsi que d'altération réduisent sa perméabilité maintenue par la fissuration secondaire [Boinali, 1982]. Pour étayer sa thèse, cet auteur cite des recherches réalisées aux îles Canaries qui montrent que les basaltes anciens ont une plus faible perméabilité que les basaltes récents dont la perméabilité est également plus faible par rapport à celle des alluvions. Ces paramètres jouent un rôle déterminant sur les infiltrations des eaux dans le sous-sol (vers les nappes aquifères). Mais l'alimentation et le maintien de ces dernières sont régis par les conditions climatiques.

I.3- Les conditions climatiques

I.3.1- Les domaines climatiques selon les directions des vents

La morphologie du relief impose un climat qui est sous l'influence des flux aériens. Suivant leurs directions, Anjouan est répartie en quatre domaines climatiques (*figures 8 & 9*) :

- **les versants Nord et Nord-Ouest au *Kaskazi*** correspondent à la mousson. Ce vent chargé d'humidité génère des précipitations par phénomène d'ascendance lorsqu'il bute contre ces versants. Il est très actif à partir de décembre jusqu'en mars ;

- **les versants au *Kusi***, un vent du Sud qui est l'équivalent du *Tsiokantsimo* malgache. Cette masse d'air humide pénètre à l'intérieur des terres et frappe de plein fouet le massif du centre Sud-Ouest de l'île et déclenche d'importantes précipitations. Elle est très influente en avril, mai, juin et juillet ;

- **les versants au *Matulay*** ou aux alizés qui sont des vents du Sud-Est. Après avoir franchi Madagascar, ils perdent leur humidité et deviennent secs lorsqu'ils pénètrent à l'intérieur des terres. Ils se font sentir à partir d'avril jusqu'en novembre, plus particulièrement en août et septembre.

- **les versants au *Mnyombeni***, un vent du Nord-Nord-Est chargé d'humidité. Il est fréquent à partir d'octobre jusqu'en janvier.

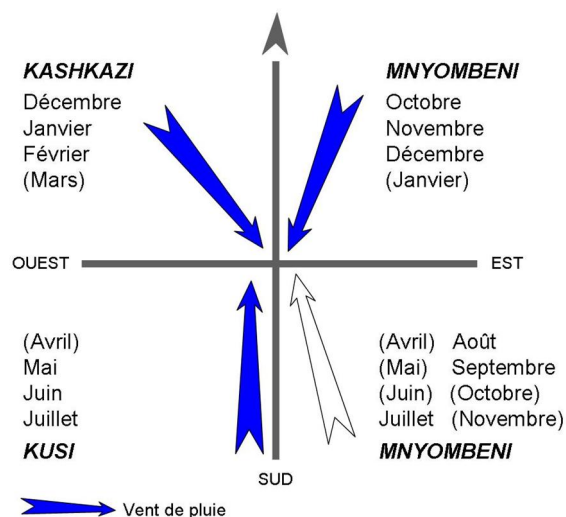


Figure 8- Les types de vents selon leurs secteurs et leurs périodes à Anjouan
(Extrait de la carte agroclimatique d'Anjouan - Latrille & Subreville [1977])

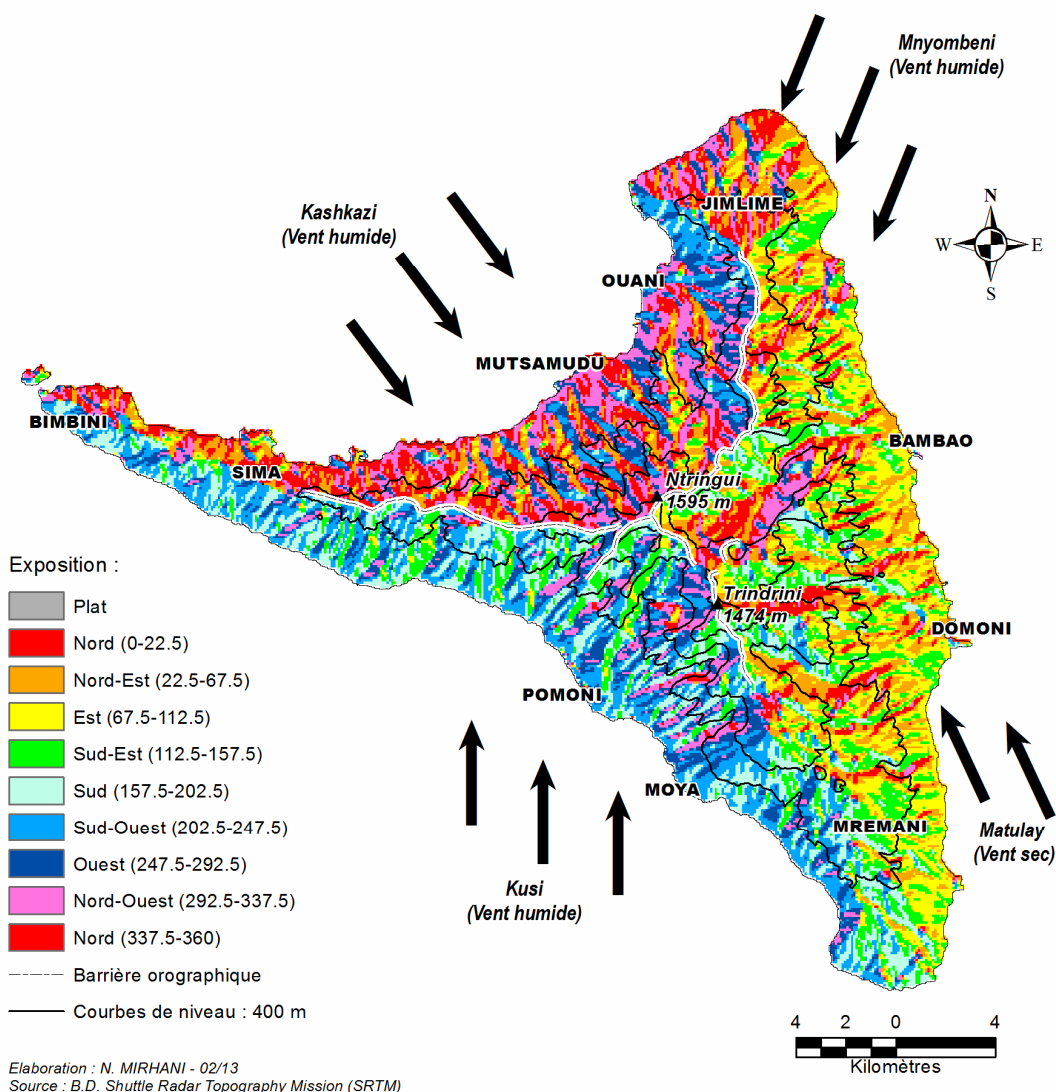


Figure 9- Exposition des versants d'Anjouan aux flux aériens

Notons que la présence des versants exposés aux vents *Kashkazi*, *Mnyombeni*, *Kusi* et *Matulay* ne signifie pas forcément que ceux sous les vents subissent l'effet de foehn. En théorie, celui-ci existe mais son influence est négligeable vu l'exigüité de l'île.

I.3.2- Des précipitations inégalement réparties dans l'espace-temps

Les quatre grands versants (Nord, Nord-Ouest, Est et Sud-Ouest) exposés aux vents constituent des barrières orographiques contre lesquelles butent les flux aériens. Ces masses d'air humide en mouvement sont contraintes de s'élever. Cette élévation provoque détente, refroidissement et condensation [Foucault, 2009] puis précipitations pouvant dépasser 2500 mm. Par contre, dans les régions bien ventées, sans obstacle au passage des vents, les précipitations sont assez faibles – moins de 1500 mm aux trois extrémités de l'île [Brouwers, 1973] (*figure 10*).

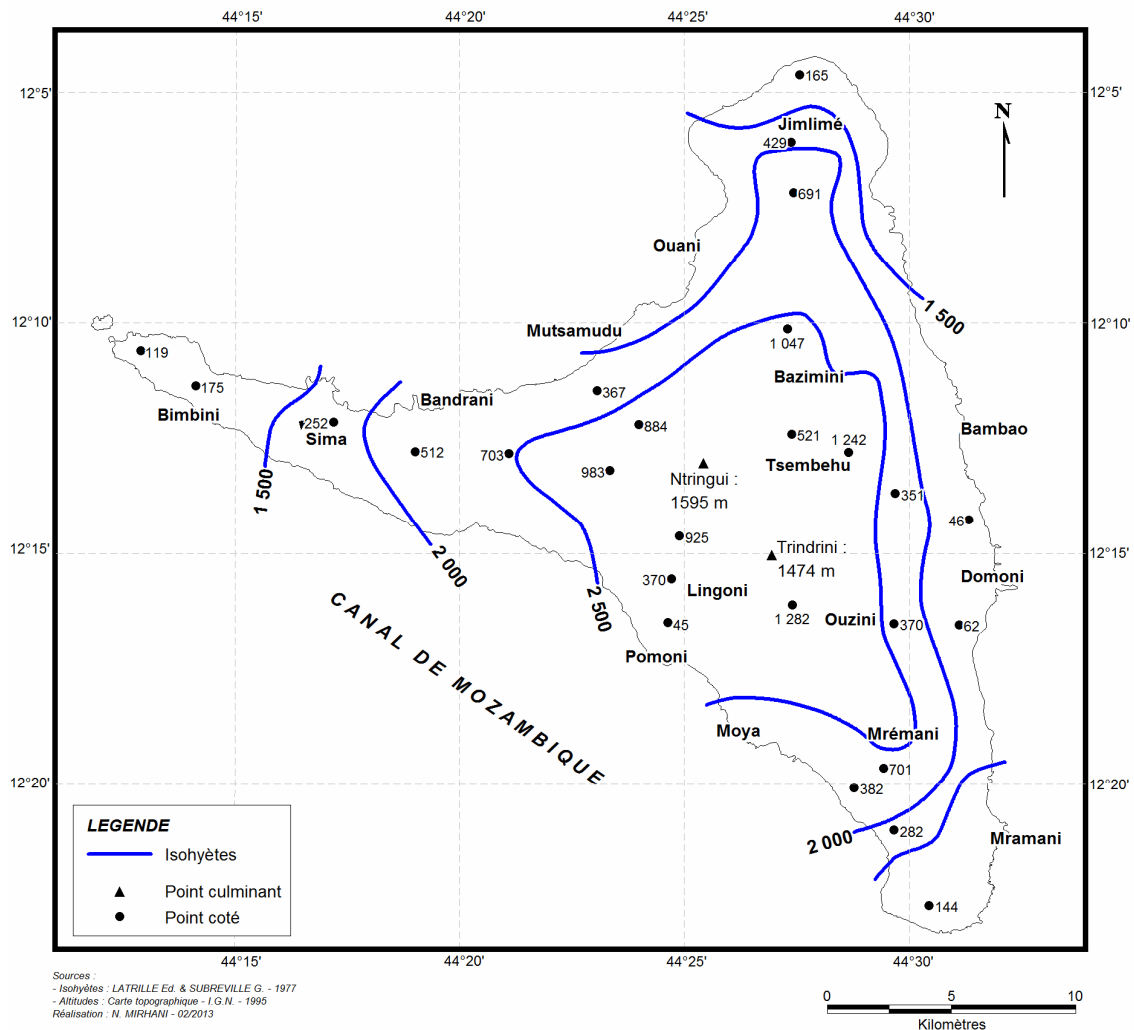


Figure 10- Isohyètes annuelles d'Anjouan

En général, sous l'effet des expositions et des variables altitudinales, on observe un gradient pluviométrique que Brouwers [1973] estime d'environ 120 mm par 100 m, ce qui est loin de la réalité si on compare les données locales existantes. Située au Sud-Ouest de l'île à 211 m d'altitude, la station de Lingoni a enregistré en décembre 2012 des précipitations de 957,1 mm en 13 jours. Plus en aval à 10 m d'altitude à Pomoni, 147,6 mm d'eau ont été relevés en 11 jours du même mois. Des cas similaires sont observés dans différentes stations de l'île (Mrémani : Alt. 720 m et P = 249,5 mm et Mramani : Alt. 100 m et P = 131 mm pour décembre 2012).

Il ressort par contre effectivement un gradient du massif central vers les littoraux d'Anjouan, les précipitations et leur nombre de jours diminuant. Cette inégale répartition des précipitations dans l'espace et dans le temps est due aux irrégularités du relief.

La répartition des précipitations insulaires et locales

Précisons d'abord que les statistiques pluviométriques et thermiques utilisées dans cette recherche sont récupérées à la station météorologique de l'aérodrome de Ouani située à 12 m d'altitude et ne concernent que cette localité. Nous avons donc eu recours aux données raster de WorldClim générées par interpolation entre différentes stations météorologiques du globe sur la période 1950 à 2000. Elles présentent l'intérêt de couvrir l'ensemble du territoire bien que la résolution spatiale soit faible d'environ de 1 km²/pixel par moyenne pluviométrique ou thermique. Ces données ont été téléchargées gratuitement en septembre 2011 via le site web <http://www.worldclim.org>.

En exploitant les données climatiques de WorldClim de 1950-2000 on obtient une moyenne pluviométrique annuelle de 1789 mm à Anjouan. Cette normale annuelle insulaire masque des réalités locales variées : 3187,7 mm pour Ouani (1978-2010), 3230 mm pour Tsembehou et 2445 mm pour Pomoni (1961-1970), etc.

La moyenne pluviométrique mensuelle pour la même période de 1950-2000 est de 149 mm à Anjouan. Mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre enregistrent des précipitations inférieures à la normale mensuelle. Elles ne représentent que 27,3 % du total annuel. Les 7 mois en question peuvent être considérés comme les moins arrosés de l'année. Par contre, décembre, janvier, février, mars et avril en sont les plus arrosés et enregistrent 72,2 % des précipitations annuelles (*figure 11*).

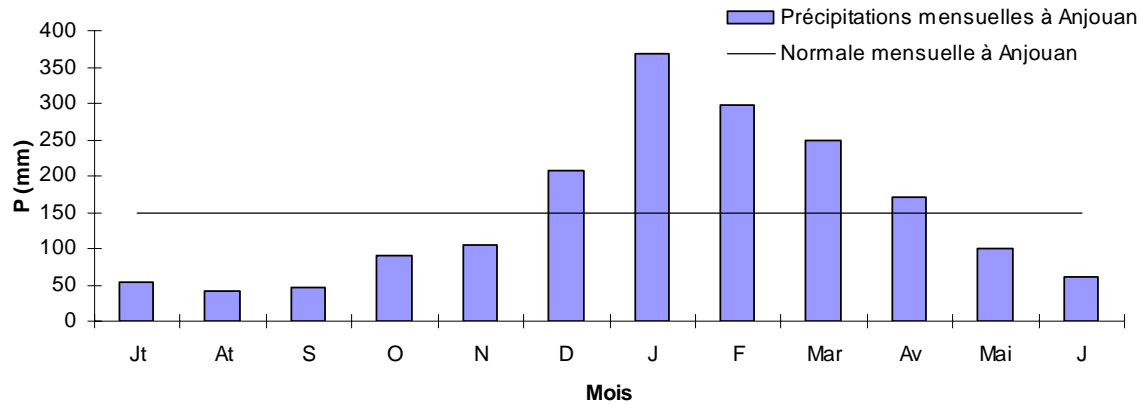


Figure 11-Précipitations mensuelles de 1950 à 2000 à Anjouan (Data base WorldClim)

A l'échelle locale d'Ouani, la normale pluviométrique mensuelle enregistrée entre 1981 et 2010 est de 265,7 mm. Mars, mai, juin, juillet et août enregistrent des précipitations inférieures à la normale mensuelle et ne couvrent que 28 % du total annuel. Septembre, octobre, novembre, décembre, janvier, février et avril sont les plus humides de l'année (*figure 12*). Les moyennes mensuelles de ces 7 mois représentent 72% des précipitations annuelles.

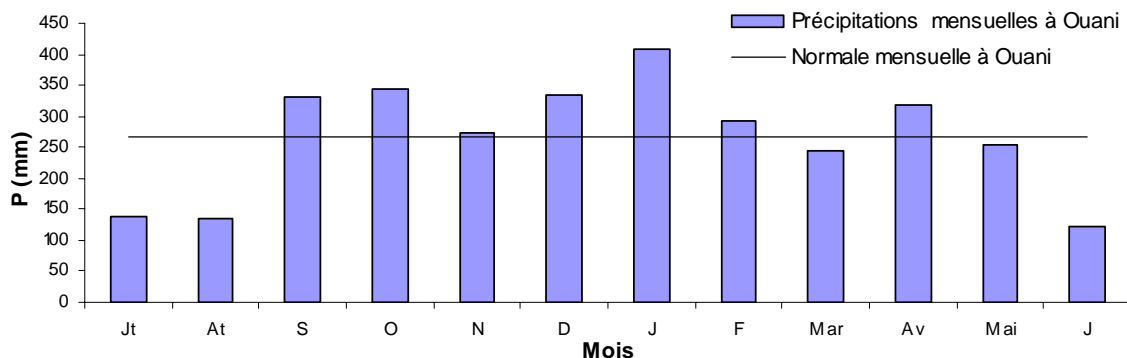


Figure 12- Précipitations mensuelles de 1981 à 2010 à Ouani (Station de Ouani)

Les figures 11 et 12 montrent en commun que les précipitations se répartissent inégalement selon les mois. Ainsi à Anjouan, août reçoit les plus faibles précipitations (41 mm) alors que janvier est le plus arrosé de l'année avec 368,5 mm. Dans la localité d'Ouani, c'est le mois de juin qui reçoit les précipitations les plus faibles de l'année avec 121,6 mm. Janvier reste toujours le plus arrosé (406,8 mm) comme à l'échelle insulaire.

Le tableau ci-dessous récapitule les moyennes pluviométriques mensuelles insulaires de 1950 à 2000 et locales de 1981 à 2010 à Ouani. Les chiffres en gras représentent les mois les moins arrosés de l'année si l'on se réfère aux moyennes mensuelles respectives de ces deux périodes d'observations : 149 mm et 265,7 mm. On remarque que la localité

d'Ouani présente une spécificité pour les mois de septembre, octobre et novembre par rapport à l'île. Cette spécificité s'expliquerait par l'exposition des versants Nord au vent humide *Mnyombeni* très fréquent pendant cette période (*cf. figure 8*).

Tableau 1- Récapitulatif des précipitations insulaires et locales d'Anjouan

Mois	Jt	At	S	O	N	D	J	F	Mar	Av	Mai	J
*P (mm) 1950-2000 Anjouan	52,5	41	45,5	90	104,5	207,0	368,5	297,5	250	170,05	100,5	62
**P (mm) 1981-2010 Ouani	137,4	136,4	330,6	343,7	272	333,5	406,8	292,4	243,4	316,7	253,3	121,6

* WorldClim, ** Station de Ouani

Anjouan dispose d'une diversité climatique importante aux échelles locales. Les grandes différences altitudinales et la forme irrégulière de l'île [Brouwers, 1973] en sont les déterminants. Cela implique que le degré de vulnérabilité face aux précipitations excédentaires ou déficitaires varie d'une localité à l'autre pour un même mois d'une année donnée. Des recherches sur les spécificités des climats locaux permettront de prévoir et gérer plus efficacement d'éventuels aléas climatiques. Nous ne nous focaliserons pas sur ce sujet compliqué par l'absence de données pluviométriques cohérentes dans les différentes localités des bassins versants d'Anjouan. Quelle que soit la localité, il est clair que ces variations pluviométriques mensuelles influencent le régime hydrique des bassins versants au cours de l'année.

I.3.3- Des températures inégalement réparties dans l'espace-temps

Les données thermo-spatiales de WorldClim permettent d'établir une première carte isothermique approximative bien que la résolution soit d'environ 1 km² par pixel (*figure 13*). Comme celle des isohyètes d'Anjouan, la carte des isothermes montre un gradient thermique vertical. Brouwers [1973] l'estime de l'ordre 0,5°C par 100 m en raison de l'humidité élevée de l'air. Dans le massif central où culminent les monts Ntringui et Trindrini, les températures varient de 18° à 20°. Les versants situés entre 950 m et 350 m d'altitude correspondent grossièrement à des moyennes thermiques comprises entre 20°C et 22°C (*figure 13*). Ces dernières sont inégalement réparties entre les domaines climatiques Nord, Nord-Ouest, Sud-Ouest et Est (*cf. I.3.2*). Certaines localités du versant Est situées par exemple à 351 m d'altitude sont incluses dans la bande de 20°C et 22°C, ce qui n'est pas le cas pour celles du Nord, Nord-Ouest et du Sud-Ouest. Une telle situation s'explique par une différence de la durée d'exposition des versants aux radiations solaires. Quant aux pointes de Sima au Nord-Ouest, de Jimlimé au Nord et de Mrémani au Sud ainsi que les milieux littoraux, ils connaissent les températures les plus élevées d'Anjouan. La moyenne fournie par les données thermo-spatiales de WorldClim y est de 25°C. Cette

valeur doit être revue à la hausse si l'on considère les moyennes annuelles enregistrées par localité. Sur le littoral à 12 m d'altitude Nord-Nord-Ouest par exemple, une moyenne thermique de 26°C a été enregistrée à la station météorologique de l'aérodrome d'Ouani de 1978 à 1996.

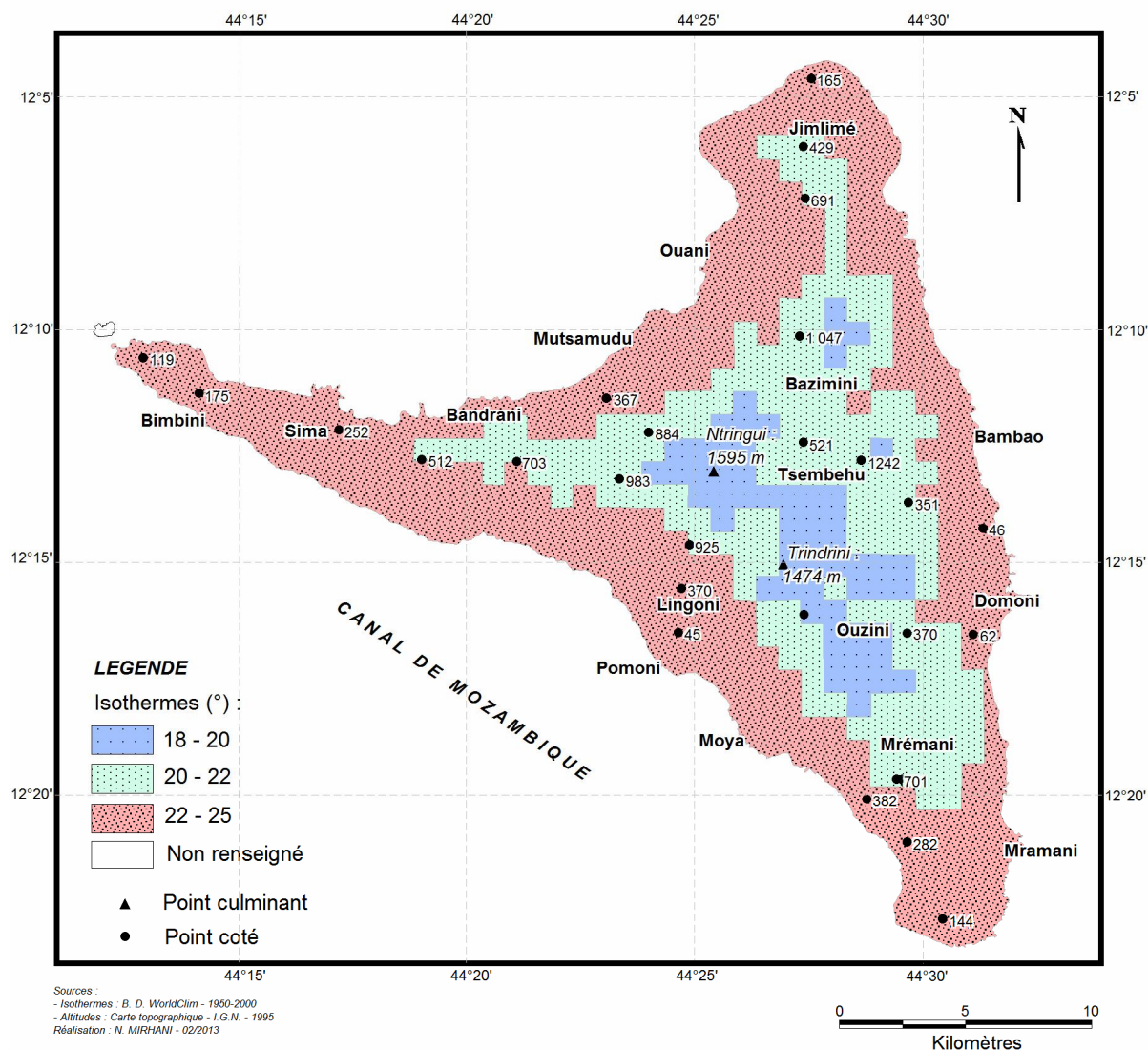


Figure 13- Isothermes annuelles d'Anjouan

Les températures insulaires et locales

L'allure des courbes thermiques d'Anjouan et de la localité d'Ouani est similaire, mais les écarts sont considérables entre les températures (*figure 14*). Anjouan enregistre une moyenne annuelle de 22,1°C contre 26°C à la localité d'Ouani, soit un écart de 3,9°C. Quant aux températures mensuelles, mars connaît les valeurs les plus élevées de l'année qui sont respectivement de 23,4°C et 27,4 °C. Les températures diminuent à partir d'avril pour atteindre leur plus faible valeur en août : 20,4°C à Anjouan et 24,2°C à Ouani. La courbe remonte à partir de septembre pour redescendre progressivement en mai. Cette

évolution donne une idée sur le rythme mensuel des températures, mais elle ne permet pas de définir les saisons. Il convient d'utiliser l'Indice d'Ecart thermique (ET) pour pallier cette lacune.

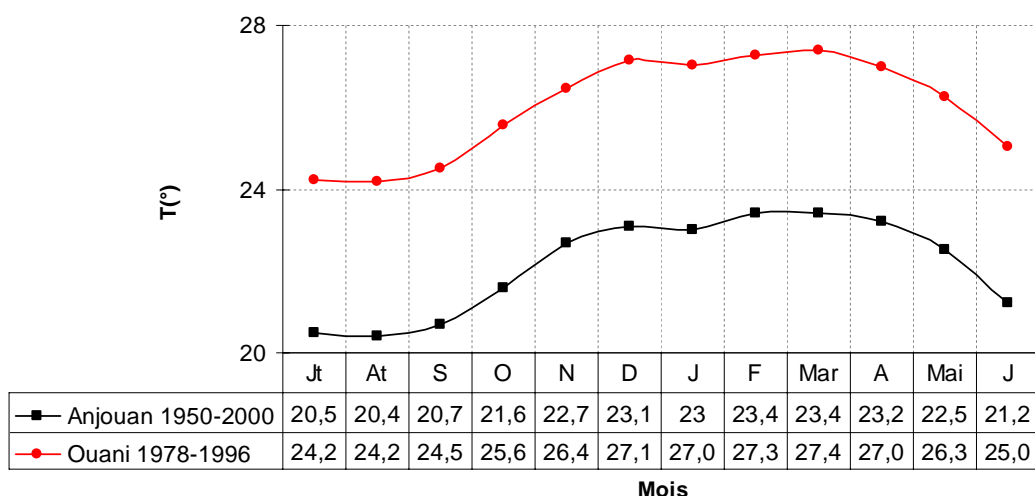


Figure 14- Moyennes thermiques mensuelles d'Anjouan et de la localité d'Ouani

I.3.4- Un climat chaud et humide

L'indice d'Ecart Thermique

L'Indice d'Ecart Thermique (ET) permet de distinguer les saisons chaudes et fraîches (figure 15). Il correspond à la différence entre la température moyenne mensuelle (T_{mm}) et la température moyenne annuelle pendant la période d'observations (T_{ma}). Si l'écart est positif, cela signifie qu'il s'agit d'un mois de saison chaude et s'il est négatif, c'est un mois de saison fraîche. Les intersaisons sont marquées par deux mois consécutifs avec des indices de signes opposés [Rasolondrainy, 2004].

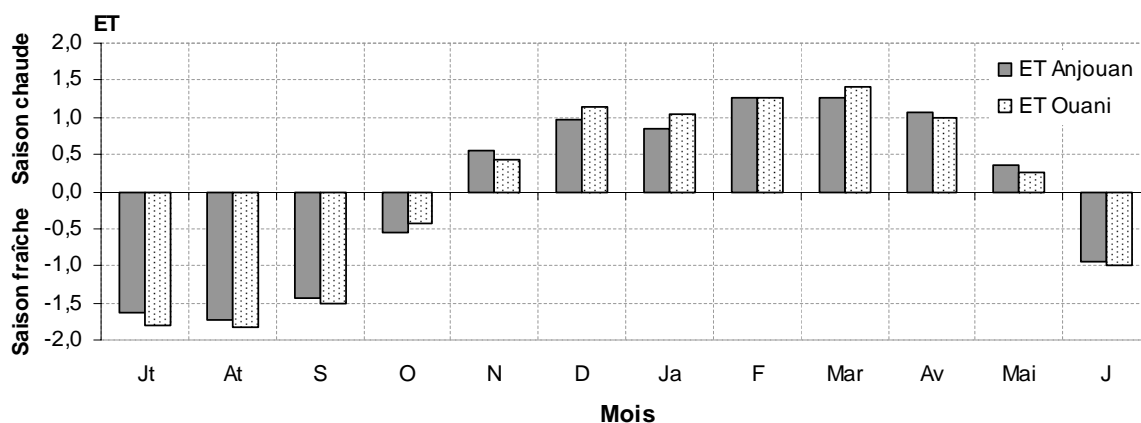


Figure 15- Saisons thermiques d'Anjouan et d'Ouani (WorldClim et Station d'Ouani)

Bien que les températures présentent des écarts considérables entre Anjouan et la localité d'Ouani, leur histogramme affiche des saisons thermiques similaires :

- **une saison chaude** qui dure 7 mois, de novembre jusqu'en mai. La moyenne Ts de cette saison est de 23°C pour Anjouan et est de 26,9°C pour Ouani. Cette saison correspond à une période de forte évaporation des eaux surfaciques et sub-surfaciques ;

- **une saison fraîche** qui dure 5 mois débute en juin pour s'achever en octobre. Les moyennes saisonnières pour Anjouan et Ouani sont respectivement de 20,9°C et 24,7°C ;

- **les intersaisons** se situent entre octobre et novembre et entre mai et juin.

Tableau 2- Récapitulation sur les saisons thermiques à Anjouan et Ouani

Saisons	fraîche					chaude						
Mois	J	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
Tmm (°) Anjouan	21,2	20,5	20,4	20,7	21,6	22,7	23,1	23	23,4	23,4	23,2	22,5
ET Anjouan	-0,9	-1,6	-1,7	-1,4	-0,5	0,6	1,0	0,9	1,3	1,3	1,1	0,4
Tmm (°) Ouani	25,0	24,2	24,2	24,5	25,6	26,4	27,1	27,0	27,3	27,4	27,0	26,3
ET Ouani	-1,0	-1,8	-1,8	-1,5	-0,4	0,4	1,1	1,0	1,3	1,4	1,0	0,3
Durée (mois)	5					7						
Ts (°) Anjouan	20,9					23,0						
Ts (°) Ouani	24,7					26,9						

Tmm : Température moyenne mensuelle, ET : Indice d'Ecart Thermique, Ts : Température saisonnière

D'une façon générale, les températures les plus élevées sont enregistrées en périodes pluvieuses où l'air est humide et la nébulosité est forte.

Les indices ombrothermiques de Gaussen et de Rivers-Martinez

Selon la formule de Gaussen [cité par Dufournet 1972], une période est considérée comme :

- sèche si $Pm/Tmm \leq 2$; c'est-à-dire lorsque la courbe ombrique est au-dessous de la courbe thermique ou lorsque les deux se confondent ;
- humide si $Pm/Tmm > 2$.

Avec Pm : Précipitations moyennes mensuelles et Tmm : Température moyenne mensuelle.

Pour ce faire, nous présentons sur un graphique :

- les 12 mois de l'année en abscisse ;
- en 2 ordonnées l'échelle des pluies en mm à gauche et les températures en degré °C à droite (50 mm en face de 25°C).

Cependant, la méthode de Gaussen n'est pas vraiment adaptée pour les milieux tropicaux humides. La classification établie par Rivas-Martinez en 1987 pour les divers mois de l'année complète le système de Gaussen [Meddour, 2010] (tableau 3). Selon cet auteur, les mois « secs » et « subsecs » de Gaussen sont respectivement les mois « arides »

et « secs » pour Rivers-Martinez. La valeur de $P/T > 3$ délimite les mois humides au sens large pour les deux auteurs.

Tableau 3- Typologies ombrothermiques de Gaussen et de Rivas-Martinez

Valeur de P/T	Typologie ombrothermique de Rivas-Martinez	Typologie ombrothermique de Gaussen
>10	Ultrahyperhumide [UH]	Humide
6-10	Hyperhumide [HH]	
4-6	Humide [H]	
3-4	Subhumide [SH]	
2-3	Sec [S]	Subsec
1-2	Semi-aride [SA]	Sec
0,5-1	Aride [A]	
0,25-0,5	Hyperaride [HA]	
<0,25	Ultrahyperaride [UA]	

Source : Meddour [2010]

Suivant la disponibilité des données, il nous est possible d'établir les diagrammes ombrothermiques de 1950-2000 d'Anjouan et de 1978-1996 de la localité d'Ouani.

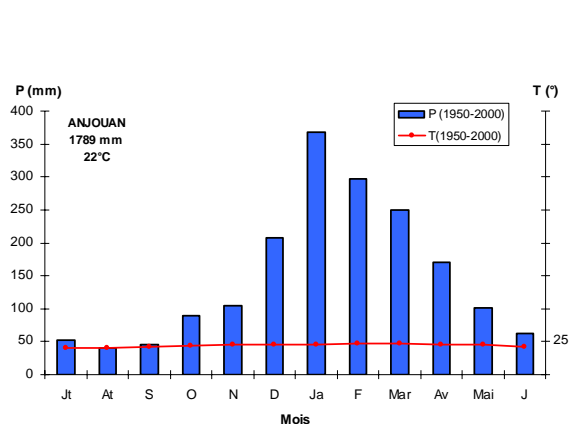


Figure 16- Diagramme ombrothermique d'Anjouan (Data base WorldClim 1950-2000)

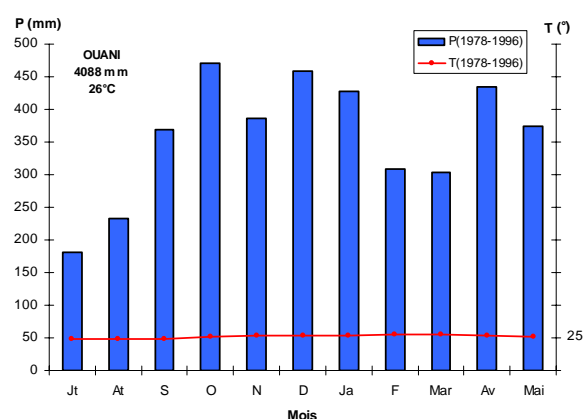


Figure 17- Diagramme ombrothermique d'Ouani (Station d'Ouani 1978-1996)

Les histogrammes pluviométriques d'Anjouan et de la localité d'Ouani présentent des différences considérables (*figures 16 & 17*) pour des raisons topographiques et d'expositions déjà expliquées plus haut. En commun, les deux diagrammes ombrothermiques ci-dessus montrent qu'Anjouan ainsi que la localité d'Ouani ne connaissent pas de saison sèche.

Sur le diagramme ombrothermique d'Anjouan, seul le mois d'août apparaît comme sec ($P/T < 2$) et le reste de l'année est humide. Ce mois ne couvre que 2,3 % des précipitations annuelles. A l'échelle locale d'Ouani, le diagramme de Gaussen montre que les 12 mois de l'année ont des indices $P/T > 2$; c'est-à-dire que toute l'année est humide.

Dans ces conditions climatiques marquées par l'absence de saison sèche selon le rapport de Gaussen¹⁶, la typologie ombrothermique de Rivas-Martinez est de grand intérêt pour catégoriser les mois de l'année (*tableau 4*).

Tableau 4- Périodes ombrothermiques d'Ouani et d'Anjouan selon la classification de Rivas-Martinez

	Mois	Jt	At	S	O	N	D	Ja	F	Mar	Av	Mai	J
O U A N I	P (mm)	181,7	233,3	369,6	469,8	386,1	458,7	428,3	309	303,1	433,7	373,3	141,5
	T (°)	24,2	24,2	24,5	25,6	26,4	27,1	27,0	27,3	27,4	27,0	26,3	25,0
	P/T	7,5	9,6	15,1	18,4	14,6	16,9	15,8	11,3	11,1	16,1	14,2	5,7
A N J O U A N	P (mm)	52,5	41	45,5	90	104,5	207,02	368,5	297,5	250	170,05	100,5	62
	T(°)	20,5	20,4	20,7	21,6	22,7	23,1	22,9	23,4	23,4	23,2	22,5	21,2
	P/T	2,6	2,0	2,2	4,2	4,6	9,0	16,1	12,7	10,7	7,3	4,5	2,9

UH : ultrahumide	HH : hyperhumide	H : humide	S : sec
------------------	------------------	------------	---------

A l'échelle locale de Ouani, on distingue trois périodes ombrothermiques :

- 9 mois ultrahumides qui s'étendent de septembre à mai ;
- 2 mois hyperhumides de juillet à août ;
- 1 mois humide en juin.

A l'échelle insulaire, on note par contre quatre périodes ombrothermiques :

- 3 mois ultrahumides de janvier à mars ;
- 2 mois hyperhumides pour décembre et avril ;
- 3 mois humides d'octobre, novembre et mai ;
- 4 mois secs à partir de juin, juillet, août et septembre.

D'une façon générale, juin, juillet, août et septembre correspondent à une période écologiquement sèche à l'échelle insulaire. Des cours d'eau voient leurs débits diminuer ou deviennent secs temporairement. Par contre, la situation inverse se produit pendant les périodes ultrahumides et hyperhumides qui s'étendent de décembre à avril. De nombreux cours d'eau à sec entrent en activité et d'autres permanents voient leur débit augmenter. La forte probabilité d'observer des cyclones, des pluies diluviennes générant des mouvements de masse, des érosions intenses et des crues d'extrême ampleur, se situe durant ces mois ultrahumides et hyperhumides où la mousson est très active. Ainsi, se sont abattus sur Anjouan les pluies diluviennes d'avril 2012, les cyclones de décembre 1950, avril 1984, mars 2004, etc. Janvier reste toutefois le plus vulnérable aux excès hydriques puisque

¹⁶ Brouwers [1973] parle d'une saison sèche assez peu marquée pour Anjouan.

l'indice du rapport ombrothermique ($P/T = 16,1$) est supérieur à ceux des autres mois de l'année. D'une façon globale, on considère la période qui s'étend de décembre à avril comme à risque environnemental.

I.4- Les facteurs hydrologiques

I.4.1- Les quatre domaines hydrologiques

Le réseau hydrographique d'Anjouan dispose d'une longueur de 1 839 km et d'une densité de drainage de 4,3 km/km². Suivant les grandes lignes de crêtes ou de partage des eaux et le sens du déversement de celles-ci à la mer, les cours d'eau se répartissent dans quatre domaines (*figure 18*) :

- **Le Nord** avec une superficie de 24 km² et un réseau hydrographique de 116 km de longueur pour une densité de drainage de 4,8 km/km². Prenant sa source à partir de 700 m d'altitude dans un bassin versant de 6 km², *Mro oua Hari* est le plus important cours d'eau du Nord devant *Mro oua Moroni*.

- **Le Nord-Ouest** dont la superficie est de 100 km² avec un réseau hydrographique de 471 km. La densité de drainage est de 4,7 km/km². Les cours d'eau de *Pagé* et *Mustamudu* sont parmi les plus importants de ce domaine. Ils prennent leur principale source dans le massif central aux environs de 1500 m d'altitude. Leur bassin versant couvre respectivement 8 et 7 km².

- **Le Sud-Ouest** couvre une superficie de 129 km² avec un réseau hydrographique de 526 km pour une densité de drainage de 4,1 km/km². Le cours d'eau de *Pomoni* est l'un des plus imposants au Sud-Ouest avec sa chute de *Lingoni* et son réseau hydrographique remontant aux environs de 1000 m d'altitude. Son bassin versant couvre une superficie de 15 km².

- **L'Est** avec 171 km² de superficie et 726 km de réseau hydrographique qui correspondent à une densité de drainage de l'ordre de 4,2 km/km². Ce domaine héberge la *Tratinga* qui est la plus longue rivière (11 km) disposant également de l'une des plus importantes chutes d'eau d'Anjouan. Elle prend sa source aux environs de 1200 m d'altitude dans un bassin versant qui couvre une surface de 26 km².

La densité de drainage présente une certaine similarité pour les deux domaines hydrologiques de l'Est et du Sud-Ouest (4,2 et 4,1 km/km²) mais aussi pour ceux du Nord-Ouest et du Nord (4,7 et 4,8 km/km²). Ces deux premiers domaines présentent la plus

faible densité de drainage de l'île puisque leur valeur est inférieure à celle d'Anjouan. Bien que la superficie du domaine Nord soit la plus faible, sa densité de drainage reste la plus forte d'Anjouan.

Tableau 5-Récapitulation sur les caractéristiques des domaines hydrologiques d'Anjouan

Domaines hydrologiques		Est	Sud-Ouest	Nord-Ouest	Nord	Anjouan
Superficie /domaine	(%)	40,3	30,4	23,6	5,7	100
	(km ²)	171	129	100	24	424
Longueur du réseau (km)		726	526	471	116	1 839
Densité de drainage (km/km ²)		4,2	4,1	4,7	4,8	4,3

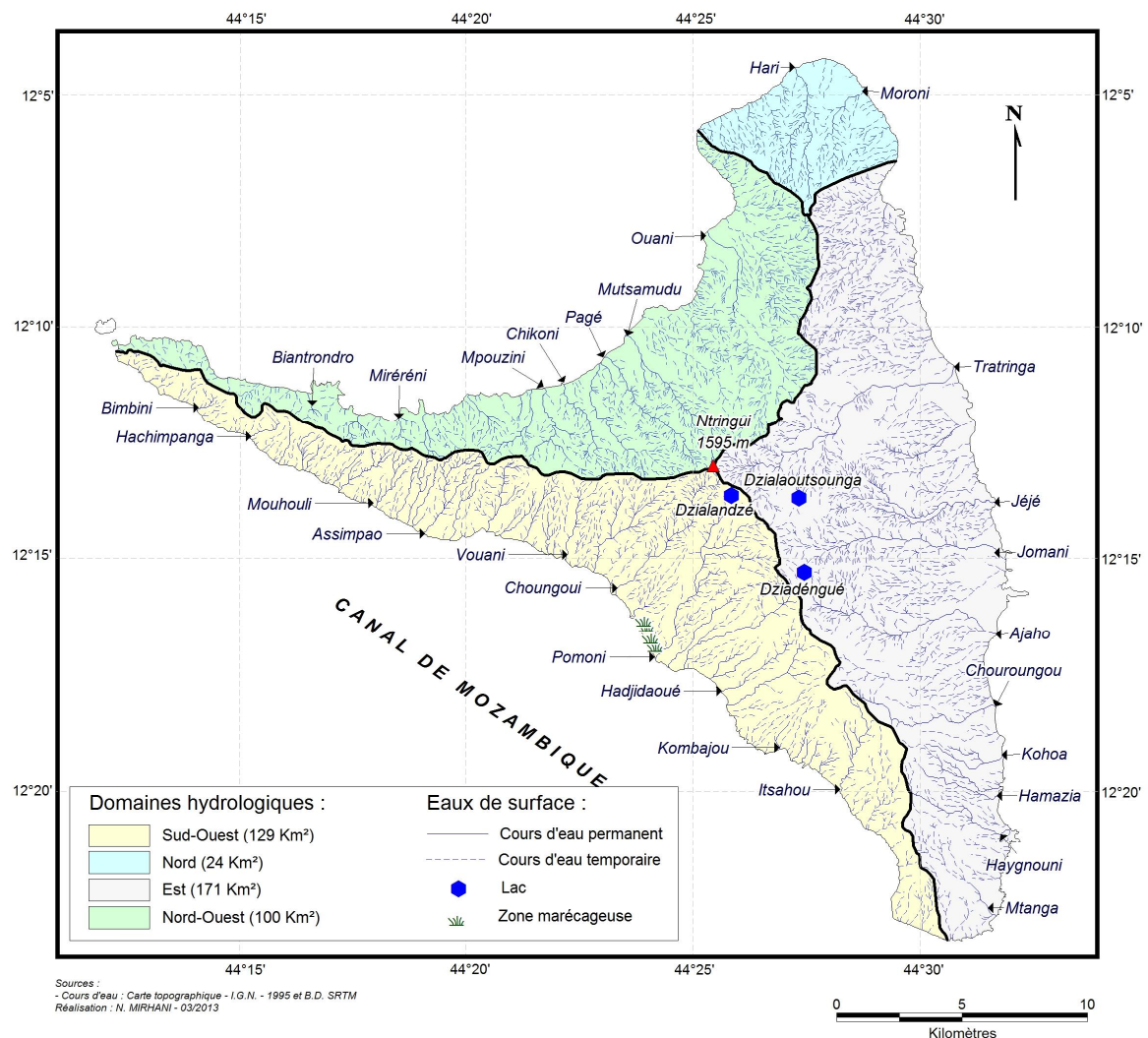


Figure 18- Domaines hydrologiques et cours d'eau d'Anjouan

Dans ces quatre domaines, sont identifiés deux principaux types d'écoulements surfaciques en fonction de leur durée :

- **permanents, pérennes ou continus** ; le débit n'est jamais nul durant les 12 mois de l'année ; 365 jours/365 [Lambert, 1996]. Dans cette catégorie de cours d'eau, on peut noter le *Tratinga*, le *Pomoni*, le *Pagé*, etc.

- **temporaires**, cette terminologie est qualifiée par Lambert [1996] de trop imprécise pour être utilisée. Mais étant donné que notre recherche n'aborde que superficiellement l'hydrologie, nous l'employons pour désigner les cours d'eau dont les écoulements sont irréguliers : saisonniers appelés localement rivière de *Kaskazi*, intermittents, discontinus, épisodiques, etc. Leurs sources d'alimentation sont pour la plupart déconnectées du massif central qui est le plus arrosé d'Anjouan. Parmi eux, on note le *Bakomatsatsi*, l'*Agnochi*, le *Lazari*, le *Chironkamba*, le *Chironi*, etc.

I.4.2- Les trois sections longitudinales des cours d'eau

Une zonation des cours d'eau a été définie de l'amont en aval en fonction de la pente, de la vitesse moyenne du courant et de la granulométrie des formations superficielles du chenal [Labat *et al.*, 2006]. Elle est répartie en trois sections longitudinales :

- **une section amont** située au-dessus de 200 m jusqu'à 1500 m qui peut être assimilée au cours supérieur. Elle est caractérisée par un débit d'étiage très faible et une succession de rapides. La pente est généralement supérieure à 10%. Le chenal est constitué d'un granulat grossier et est encombré de blocs de roches basaltiques.

- **une section intermédiaire** qui constitue le cours moyen situé entre 10 et 200 m d'altitude. La pente est inférieure à 10% et des fonds sableux peuvent être observés dans les portions à faible courant.

- **une section aval** qui correspond au cours inférieur situé entre 0 et 10 m d'altitude. Elle englobe la partie basse des cours d'eau situés dans la plaine littorale et peut être divisée en deux parties : la première sous-section, située en amont de la zone d'influence de la marée, est composée de faciès d'écoulements de type lentique ; la seconde, la zone d'estuaire, est sous influence de la marée.

I.4.3- Les lits mineurs et majeurs des cours d'eau

Ils sont définis comme étant les milieux de fond de vallée occupés d'une manière permanente ou temporaire par un cours d'eau. Selon les différents épisodes hydrologiques (basses eaux, hautes eaux, crues) [Amat *et al.*, 2002], ces supports physiques des écosystèmes [Malavoi & Bravard, 2010], connectés transversalement (*photos 1 & 2*), peuvent être répartis en :

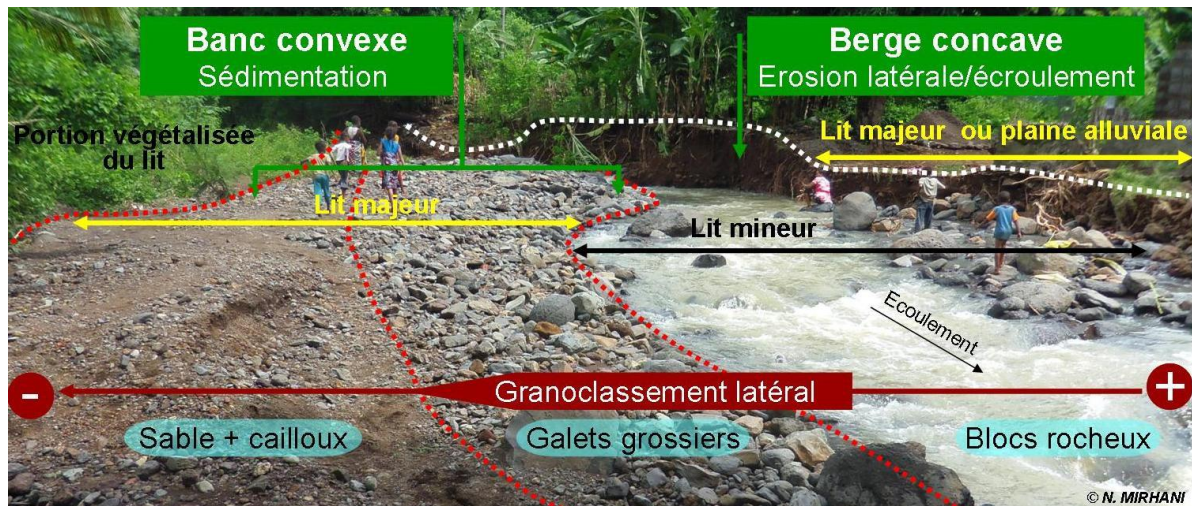


Photo 1- Section d'un cours d'eau aux lits mineur et majeur avec granoclasement latéral (Rivière de Mavoulé à Mirontsy)



Photo 2- Section d'un cours d'eau avec un lit majeur occupé par des habitations et des cultures (Rivière de Mpagé)

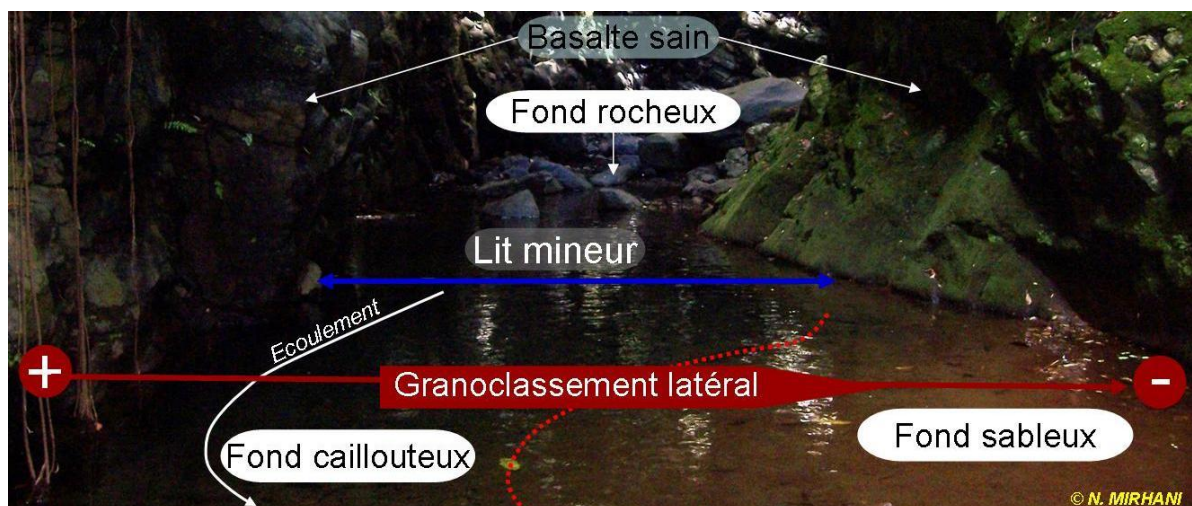


Photo 3- Section d'un cours d'eau à un seul lit à fond caillouteux concave et sableux convexe (Rivière d'Ajaho à Salamani)

- un **lit mineur** ou **ordinaire** qui est la partie du chenal habituellement occupée par le cours d'eau. Elle est limitée par une ou deux berges marquées (*photo 1*) ou est surplombée

d'abrupts dans les vallées encaissées et étroites d'Anjouan (*photo 3*). Ces abrupts sont le plus souvent constitués de basalte sain ou non érodable, un substrat qui empêche le cours d'eau d'élargir son chenal. Dans ce cas, on a affaire à un fond de vallée avec un seul lit mineur.

-un **lit majeur** ou **plaine alluviale** ou **inondable** qui est mis en eau lors de crues de fréquence moyenne à rare [Malavoi & Barvard, 2010]. A l'occasion des inondations, l'infiltration des eaux dans la plaine permet de recharger la nappe, qui, au moment des basses eaux, soutiendra à son tour l'écoulement dans le chenal [Amat *et al.*, 2002]. Proche des cours d'eau et fertile, cette plaine est généralement mise en culture ou occupée par les bâtis (*photo 2*). En général, c'est le lit majeur exceptionnel qui est urbanisé. Le lit majeur périodique est occupé par les cultures, car il est régulièrement inondé tous les ans.

Concernant la sédimentation, du chenal d'étiage vers le lit majeur, on peut observer un ensemble de charges disposées en granoclassement latéral qui « passe globalement des sédiments grossiers vers les plus fins » [Dufour, 2005] (*photos 1 & 3*). Cet ensemble est constitué d'une charge de fond dominée le plus souvent de gros galets et de blocs de roches, de banc de galets et de banc sablo-caillouteux plus ou moins mobile avec ou sans végétation. La formation de ces bancs latéraux est un facteur d'accélération de l'érosion des berges concaves [Bravard & Petit, 2000]. La photo 1 illustre ce processus juste 10 heures de temps après l'importante crue de la rivière Mavoulé à Mirontsy dans la nuit du 13 au 14 avril 2013.



Photo 4-Le marécage du littoral de Pomoni



Photo 5- Le lac Dzilandzé dans le massif central

Anjouan dispose également d'une zone marécageuse située sur le littoral de Pomoni (*photo 4*) dans le domaine Sud-Ouest. Des lacs permanents sont localisés dans des dépressions du « bouclier central ». Les plus importants sont le Dzilandzé perché à 900 m

(photo 5), le Dzialoutsounga à 697 m et le Dziadéngué à 1190 m d'altitude. Les eaux de surface y couvrent respectivement 3 ha, 0,88 ha et 0,28 ha de superficies.

I.5- Les sols et leur occupation

I.5.1- L'état des connaissances :

en pédologie

Une campagne pédologique a été effectuée en 1951 à Anjouan par le SGM¹⁷. A la suite, une carte au 1/ 100 000 a été publiée en 1952. Elle est archivée dans les sites de *The soil maps of Africa* et de l'IRD¹⁸ où elle a été téléchargée gratuitement en octobre 2010 :

http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/EuDASM/Africa/

<http://sphaera.cartographie.ird.fr/tableaux/interactif/SphaAfr.html>

De 1972 à 1973, une étude agropédologique de l'IRAT¹⁹ sous la direction de BROUWERS a été entreprise à Anjouan dans le cadre d'investigations sur les ressources agricoles de l'Archipel. Cela a abouti à l'élaboration d'une carte morpho-pédologique au 1/20 000 avec 3 coupures. Notons que les prospections pédologiques menées par le SGM et l'IRAT ont exclu les régions forestières et les zones situées au-dessus de 1000 m d'altitude. Sur la base de ces deux travaux pionniers, on s'intéressera aux types de sols et à leur répartition.

sur l'occupation des sols

A la demande du Ministère du Développement Rural de l'Archipel des Comores, un « Inventaire des terres cultivables et de leurs aptitudes culturales » a été réalisé à Anjouan sous la direction de Brouwers et publié par l'IRAT en 1973. Une première carte d'occupation des terres au 1/50 000 a été produite sur la base de photographies aériennes de 1969. Selon l'auteur, elle était destinée à analyser et à visualiser le mode d'utilisation du sol à des fins agricoles. Ainsi, ont été distinguées trois grandes catégories de type d'occupation :

- végétation naturelle conservée (mangrove, marécage et forêt de montagne) ;
- cultures commerciales ou vivrières ;
- végétation modifiée à forte ou faible densité du recru ligneux ou reboisement.

¹⁷ SGM : Service Géographique de Madagascar

¹⁸ IRD : Institut de Recherche pour le Développement

¹⁹ IRAT : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et de Cultures vivrière

En 1982, dans le cadre d'un programme ethnobotanique de l'Agence de Coopération Culturelle et Technique de Paris, Adjanohoun *et al.* [1992] ont publié un rapport « Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques aux Comores » réédité en 1992. La classification phytogéographique proposée se compose des forêts denses humides de haute altitude à partir de 1200 m et de moyenne altitude (600-1200 m), fourrés arbustifs ou buissonnants, savanes, mares, prairies herbeuses, groupements saxicoles sur scories, plantations et cultures.

En 1987, une cartographie d'occupation des terres (5 coupures au 1/25 000) accompagnée d'un rapport explicatif a été produite par la société allemande AHT²⁰ à la demande des Autorités comoriennes. Des photographies aériennes au 1/25 000 datant de 1983/1984 ont été exploitées. Quatre niveaux d'occupation des terres ont été définis à Anjouan, Mohéli et Ngazidja : végétation naturelle, terres cultivées, zones sans végétation et/ou végétation très rare et divers (ville/village, aéroport, village avec jardin de case, lac et marécage).

En 2009, il a été proposé dans un manuel de terrain une dernière classification de l'occupation des terres pour l'Inventaire Forestier National sous l'égide du FAO²¹ et du MAPE²². On distingue deux grands types d'occupation des sols répartis en sous-classes :

- Un type d'occupation globale du sol développé dans le cadre de l'évaluation des ressources forestières mondiales de la FAO. Il se compose de « Forêts, Autres terres boisées, Autres terres et Eaux continentales » ;

- Un type d'occupation spécifique des sols pour prendre en compte la réalité et la spécificité insulaires. Il en résulte 12 classes : forêts naturelles, plantations forestières, savanes arborées, formations arbustives, terres naturelles et cultivées, terrains bâtis, mines/carrières, rivières permanentes, rivières temporaires, lac et barrage.

Cependant, cette dernière classification d'occupation des sols ne prend pas en compte toutes les spécificités de chaque île. Les forêts naturelles sont réparties en « forêt humide sempervirente » et « forêt humide semi-décidue ». Ces dernières sont classées en niveau « primaire », « secondaire adulte » et « secondaire jeune ». Or, à notre connaissance, il n'existe pas de « forêt secondaire jeune » à Anjouan. La croissance des

²⁰ AHT : AGRAR - UND HYDROTECHNIK GMBH

²¹ FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

²² MAPE : Ministère de l'Agriculture, de la Pêche, de l'Environnement chargé de l'Énergie, de l'Industrie et de l'Artisanat

besoins en terre pour l'agriculture ne donnent pas de chance à la régénération forestière. Cependant, des recrûs ligneux peuvent s'observer sur des versant aux pentes fortes ou ayant subi des décapages ou mouvements de masse ou sur quelques parcelles laissées temporairement en jachère après une culture sous-forêt. La terminologie « forêt secondaire jeune » ne semble donc pas adaptée à Anjouan. Mais, elle l'est en Grande-Comore où l'on l'observe une régénération forestière après chaque éruption volcanique comme en 1972, 1977, 2005, 2006 et 2007.

Tableau 6- Récapitulatif des classifications d'occupation des sols aux Comores

BROUWERS /IRAT [1973]	ADJANOHOUN <i>et al. [1982]</i>	AGRAR - UND HYDROTECHNIK GMBH (AHT) [1984]	FAO & MAPE [2009]
1. Végétation naturelle 1.1- Mangroves ou marécages 1.2- Forêt 2. Cultures 2.1- Commerciales 2.2- Commerciales et vivrières 2.3- Vivrières 3. Végétation modifiée 3.1- Reboisements 3.2- Recrû ligneux dense associé à des cultures commerciales et vivrières 3.3- Recrû ligneux clair associé à des cultures vivrières	1. Forêts denses humides 1.1-Forêts denses humides de haute altitude 1.2-Forêts denses de moyenne altitude 2. Fourrés arbustifs ou buissonnants 3. Savanes 3.1- Savanes arbustives 3.2- Savanes herbeuses 3. Mangroves 4. Marécages 5. Mares 6. Prairies herbeuses 7. Saxicoles sur scories 8. Plantations et cultures 8.1- Exploitation industrielle 8.2-Essences de reboisement 8.3- Fruitiers 8.4- Cultures vivrières et légumes 8.5- Plantes ornementales 8.6-Divers	1. Végétation naturelle 1.1- Forêts, forêts sur pente très forte, marécages 1.2- Végétation naturelle herbacée 1.3- Végétation naturelle arbustive, végétation naturelle arbustive sur pente très forte 2. Terres cultivées 2.1- Plantations arborées 2.1.1- Reboisement 2.1.2- Cultures de rente, pures et mélangées 2.2- Cultures vivrières 2.2.1- Permanentes, à jachère herbacée, à haies vives. 2.2.2- Cultures commerciales et vivrières - Association arborée claire - Association arborée dense 2.2.3 - A jachère herbacée avec arbres isolés, à jachère herbacée avec couvert arboré diffus 2.2.4- Sous forêt naturelle, sous plantation forestière 3. Sans végétation et/ou végétation très rare 4. Divers (ville/village, aéroport, village avec jardin de case, lac)	1. Forêt 1.1- Forêt humide sempervirente 1.1.1- Primaire 1.1.2- Secondaire adulte 1.1.3- Secondaire jeune 1.2- Forêt humide semi décidue 1.2.1- Primaire 1.2.3- Secondaire adulte 1.2.4- Secondaire jeune 2. Autres terres boisées 2.1-Savane arborée 2.2- Formation arbustive 2.2.2- Mangrove arbustive 2.2.3-Autre formation arbustive 3. Autres terres 3.1-Naturelles 3.1.1- Sol dénudé 3.1.2- Végétation herbeuse/ Prairie naturelle 3.1.3- Prairie marécageuse 3.2- Cultivées 3.2.1- Cultures annuelles 3.2.2- Cultures pérennes 3.2.3- Mélange de cultures annuelles et pérennes 3.2.4- Agroforêt/ Cultures sous ombrage 3.2.4- Jachère 3.2.5- Bosquet planté 3.3-Terrains bâtis 3.4-Mines / Carrières 4. Eaux continentales 4.1-Rivière permanente 4.2-Rivière temporaire 4.3-Lac 4.3-Barrage

De 1973 à 2009, l'ensemble des classifications d'occupation des sols proposé aux Comores se focalise sur la végétation. Mais les nomenclatures utilisées sur les cartes pour désigner les types de formations diffèrent suivant les auteurs et les équivalences ne sont

pas souvent évidentes (*tableau 6*). La carte de Brouwers [1973] ne mentionne ainsi comme végétation naturelle que des forêts, alors que sur celle d'AHT figurent près de 1150 ha occupés par une végétation naturelle herbacée ou arbustive, qui se trouvent probablement sur la carte de Brouwers sous l'appellation « recrû ligneux clair » [AHT, 1987]. Ces confusions rendent délicate l'exploitation de la cartographie ou des archives à des fins diachroniques. Il est également difficile d'établir des cartes d'occupation des sols « comprises par tous faute d'une classification fondamentale des types de végétations admise par tous » [Aubreville, 1957]. Ce problème déjà soulevé en Afrique fut à l'origine de la convention à Yangambi sur la classification et la nomenclature des types africains de végétation en 1956 et de la publication de l'UNESCO en 1986 sur la végétation de l'Afrique sous la direction de White.

Cette confusion entre les différentes nomenclatures des unités paysagères proposées aux Comores et plus précisément à Anjouan, nous a incités à ne pas en ajouter d'autres. Celles-ci ne feront que compliquer une situation qui, déjà, ne favorise pas la communication entre les scientifiques. Une nomenclature cohérente et acceptable doit être définie conventionnellement par une équipe de chercheurs multidisciplinaires et non par un groupe d'individus comme cela a été le cas. Dans ce travail, on ne fera qu'exploiter les classifications déjà établies.

I.5.2- La typologie des sols

Suivant la nature des produits du volcanisme à Anjouan, huit types de sol ont été cartographiés en 1952 par le SGM (*figure 19*). Les sols hydromorphes n'ont pas été figurés vu leurs faibles surfaces couvertes par rapport à l'échelle de la carte (1/ 100 000).

- **Les sols bruns squelettiques sur basalte avec roches apparentes** dominant. Ils couvrent 42,2 % de l'île et **s'étendent à moins de 700 m d'altitude**. Ces sols sont généralement mis en culture ou occupés par des bâtis.

- **Les sols brun-rouges latéritiques sous forêt** occupent la deuxième position. Ils couvrent le domaine central d'Anjouan avec 24,7% de superficie selon la carte du SGM. Mais, cette part doit être revue à la baisse car la couverture forestière ayant diminué au profit de l'agriculture, cela a entraîné, par endroit, une troncature de la partie supérieure du solum.

- **Les sols rouges latéritiques sur basalte** se rencontrent généralement sur les trois péninsules de Jimlimé, Sima et Mrémani. Ils occupent 13,6 % d'Anjouan. Ce type de sol

est très fragile et en quelques années, des méthodes agricoles inadaptées peuvent le rendre pratiquement stérile [Aubert, 1954].

- **Les sols bruns ou beiges non latéritiques** se sont formés sur des cendres volcaniques. Ils couvrent 8,4 % d'Anjouan et se concentrent dans la région d'Ouani au Nord et de Mrémani au Sud, dans le cirque de Bazimini et Tsembehu vers le centre Nord où la topographie est plus ou moins plane.

- **Les alluvions brunes avec galets de basalte** sont confinées dans des fonds de vallées encaissés ou sur de petites plaines littorales. Ces accumulations alluviales n'occupent que 5,4 % de l'île. Elles sont fréquemment caillouteuses. La texture fine est généralement limoneuse parfois sableuse, localement argileuse [Brouwers, 1973]. Avec leur forte potentialité agricole, les alluvions sont dans l'ensemble mises en culture.

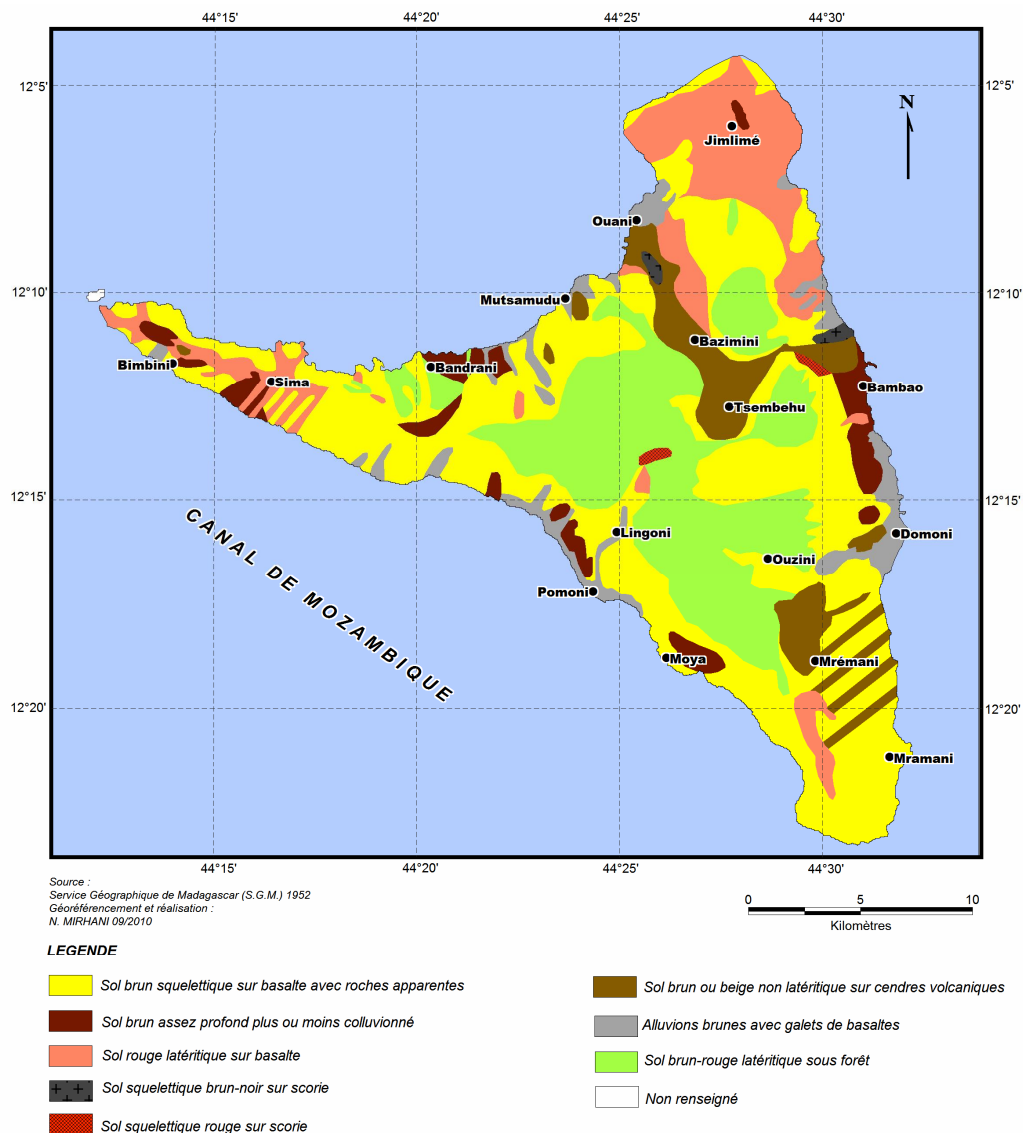


Figure 19- Types de sols d'Anjouan

- Les sols *bruns assez profonds plus ou moins colluvionnés* (apports latéraux) couvrent 5 % de l'île. Ils se localisent sur des sites à faible altitude, plus particulièrement en bas de pente vers les littoraux.

- Deux types de sols *squelettiques brun-noirs et rouges* se sont formés sur scories volcaniques. Ils ne couvrent que 0,7 % de l'île.

- Les sols *hydromorphes* se rencontrent dans certains cratères volcaniques, sur la côte Nord-Ouest occupée par la mangrove à Bimbini et dans la plaine côtière à Pomoni. La salinité suivant le site et les excès d'eau ont préservé une partie de ces sols contre l'exploitation agricole.

Le tableau et la figure ci-dessus récapitulent les types de sols et leur répartition en termes de superficie à Anjouan.

Tableau 7- Typologie des sols d'Anjouan selon la roche mère

SIGLE	TYPE DE SOL	NATURE DU SUBSTRAT	SUPERFICIE (%)*
Sbs	Sol brun squelettique sur basalte avec roches apparentes	Basalte	42,2
Sb-r	Sol brun-rouge latéritique sous forêt	Roches volcaniques	24,7
Srl	Sol rouge latéritique sur basalte	Basalte	13,6
Sb/b	Sol brun ou beige non latéritique sur cendres volcaniques	Cendres volcaniques	8,4
Al	Alluvions brunes avec galets de basaltes	Alluvion	5,4
Sb	Sol brun assez profond plus ou moins colluvionné	Basalte	5,0
Ssb-r	Sol squelettique brun-noir sur scories	Scories volcaniques	0,4
Ssr	Sol squelettique rouge sur scories	Scories volcaniques	0,3
	Sol hydromorphe	Basalte ?	Non cartographié

* Les superficies sont obtenues après géoréférencement et digitalisation des types de sols fournis par le SGM en 1951. Nos estimations n'incluent pas les sols hydromorphes non cartographiés par le SGM

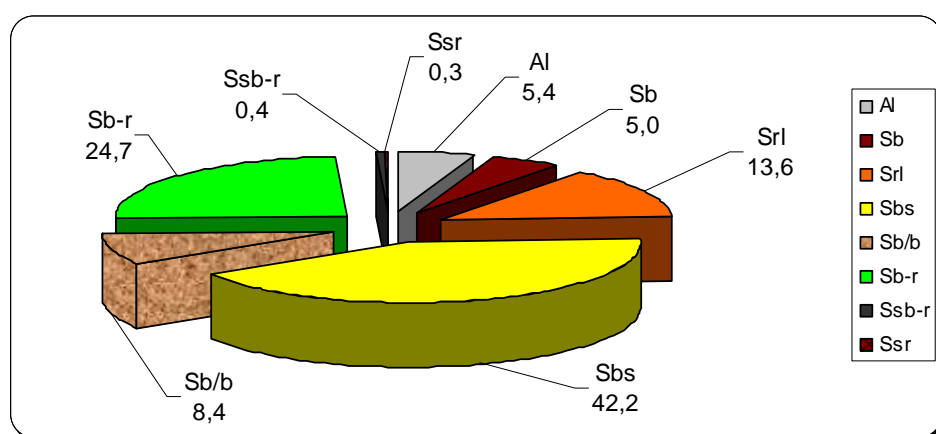


Figure 20- Proportion des sols d'Anjouan

I.5.3- L'occupation des sols

La version originale (*cf. annexe D*) de la carte ci-dessous (modifiée) a été extraite de la thèse d'Amir [2010]. La carte source a été établie à l'aide d'une image SPOT 2 du 22/05/1995. Acquis en fichier PNG (Portable Network Graphic) par capture d'écran, nous l'avons retravaillée (modification et amélioration) sous logiciel MapInfo : géoréférencement, suppression des contours de surcharge et inutiles, substitution de la terminologie « lambeaux forestiers » à celle de la « forêt ombrophile » et « zone d'habitation » à l'« agglomération » pour la légende, ajout de la toponymie, des routes et du lac, localisation de l'aéroport et du port et modification des palettes de couleurs. Inspirés en grande partie à la légende d'AHT [1987], 12 types d'occupation des sols ont été définis :

- **La mangrove** localement appelée « *Mihonko* » est une formation semi-terrestre qui se localise sur la côte Sud-Ouest de la presqu'île de Sima. On estime sa superficie à 18 ha à partir des photographies aériennes de 1998. Floristiquement pauvre, elle est composée de trois espèces dont *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata* et *Sonneratia alba*.

- Sous l'appellation locale « *Mpaharo* », **la forêt ombrophile** (*photo 6*) ou forêt humide sempervirente primaire ne se rencontre que dans le massif central. A partir d'une image SPOT de 1995, Amir [2006] a estimé sa superficie à 1178 ha (2,8 % de l'île). Elle se subdivise en forêt de haute altitude et en forêt de moyenne altitude [Adjanohoun *et al.*, 1982]. La zone de haute altitude s'étend de 1200 à 1595 m où la hauteur des arbres ne dépasse pas 10 mètres et la strate herbacée disparaît [Daroussi, 2006]. Selon les deux auteurs, les arbres sont souvent tortueux et les sous-bois recouverts par des mousses et des lichens. Les fougères arborescentes, les orchidées et les lianes dominent. Au dessous de 1200 à 800 m se trouve la forêt de moyenne altitude. Elle présente une futaie peu haute et des arbres dépassant 12 m avec une densité qui diminue quand on descend en altitude. Les essences les plus remarquables appartiennent aux genres *Chrysophyllum*, *Tambourissa*, *Anthocleista*, *Ficus*, etc. [Adjanohoun *et al.*, 1982]. Les cultures vivrières dominent dans les sous-bois. La présence d'orchidées et de fougères arborescentes est très marquée [Daroussi, 2006].

- **Les cultures sous forêt** (*photo 7*) jouxtent la forêt primaire. Elles couvrent une superficie de 2489 ha, soit 5,9% d'Anjouan [Amir, 2006] et se localisent surtout dans les régions d'altitude du Centre-ouest et du Centre-sud-ouest [AHT, 1987]. Les bananiers et les taros sont le plus souvent rencontrés sous la forêt. Des girofliers peuvent s'y trouver

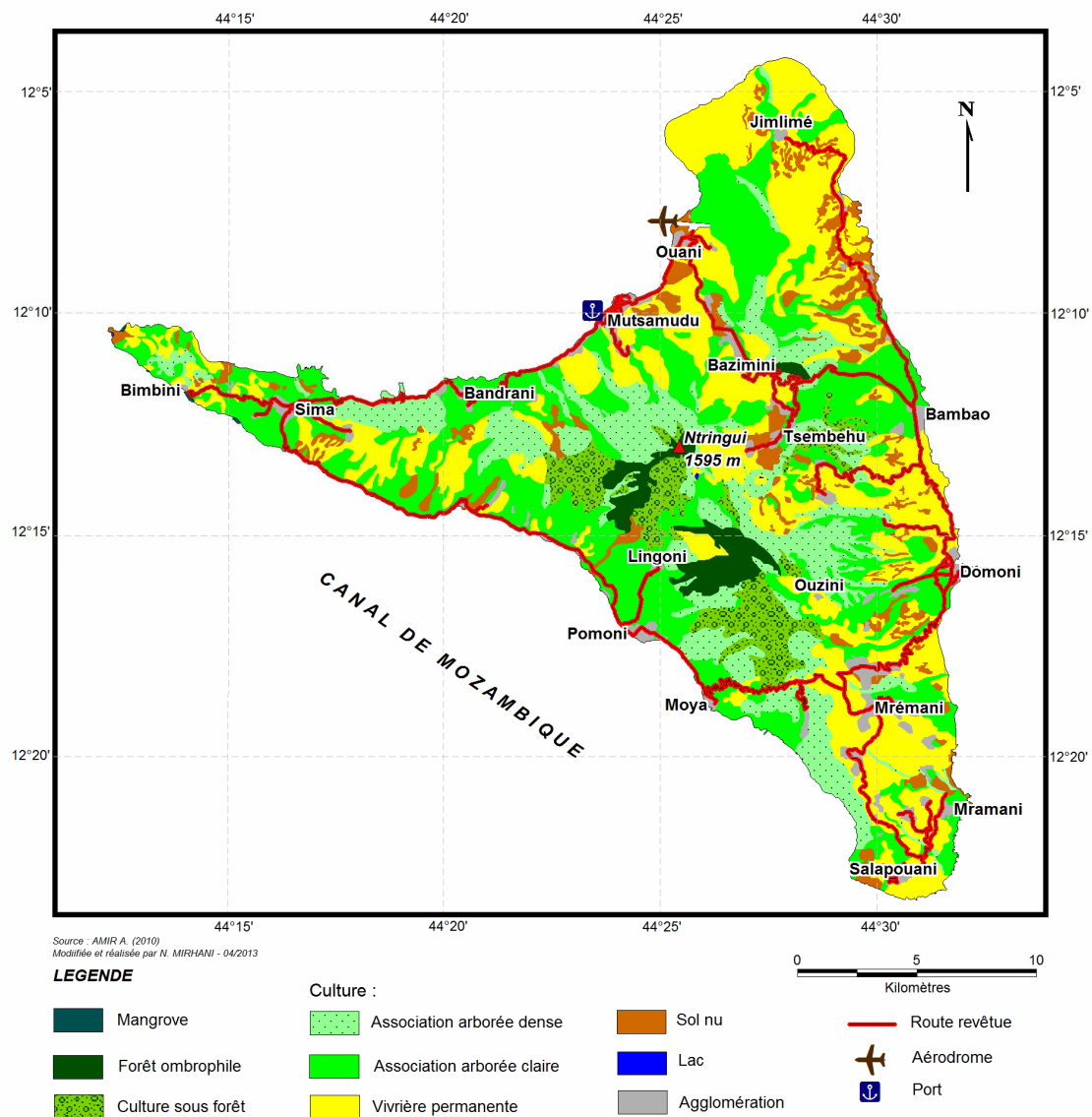


Figure 21- Typologie d'occupation des terres à Anjouan en 1995



Photo 6- Forêt ombrophile ou forêt de nuage dans le massif central (Ntringui)



Photo 7- Culture sous forêt : bananier et taro dans le bassin versant Ouzini-Ajaho

suivant les conditions thermo-altitudinales qui déterminent leur amplitude écologique. L'AHT [1987] distingue trois strates caractéristiques dans cette formation : - une strate supérieure constituée par ce qui reste des grands arbres de la forêt naturelle avec un degré de couverture du sol de 40 à 60 %. La hauteur de cette strate est généralement comprise entre 8 et 15 m ;

- une strate intermédiaire d'une hauteur de 3 à 4 m correspondant à des bananiers et d'un recrû forestier ;

- une strate inférieure constituée d'une dense végétation de fougères et d'herbes mais aussi de taro.

- Les cultures

Traditionnellement, les cultures se font en association : association de cultures vivrières et commerciales en basse altitude sur les meilleures terres et association de cultures vivrières seules partout ailleurs [Brouwers, 1973].

Association arborée claire ou mélangée (photo 8)

Ce type d'occupation du sol s'observe sur une partie importante des zones littorales. Sa superficie est estimée à 13194 ha en 1995 [Amir, 2006], soit 31,1% de l'île d'Anjouan. Il s'agit d'une association de cultures vivrières avec des cocotiers, girofliers et manguiers. La densité des ligneux est généralement comprise entre 50 et 250 arbres/ha, avec une couverture au sol inférieure à 30 % [AHT, 1987].

Association arborée dense (photo 9)

Selon l'AHT [1987], cette association culturale se différencie de la précédente par son degré de couverture au sol par les couronnes qui est supérieur à 30 % et l'écartement des arbres qui est inférieur à 3 - 8 m. Elle occupait une superficie de 7369 correspondant à 17,36% de l'île en 1995 [Amir, 2006] . Ont été distinguées trois strates végétales :

- arborée à dominance cocotiers, girofliers, arbres fruitiers (fruits à pain, manguiers, jacquiers, etc.) et même des essences forestières en altitude. L'ylang-ylang en fait partie vu sa forte densité bien que son extension soit faible ;

- cultures vivrières telles que le bananier, le maïs,...

- graminées diverses, fougères et buissons.

Les cultures vivrières permanentes

Elles couvraient 13489 ha, soit 31,78% de l'île en 1995 [Amir, 2006]. Pures ou en association, elles se succèdent d'année en année, sans jachère ou parfois avec une très

courte jachère. Les cultures sont annuelles, à l'exception du bananier (*Musa sp.*) et du manioc (*Manihot sp.*) [AHT, 1987]. Parmi elles, on note surtout le taro (*Colocasia sp.*), l'ambrevade (*Cajanus cajan*), la patate-douce (*Ipomea batatas*), le maïs (*Zea mays*), le riz pluvial (*Oryza sp.*), l'arachide (*Arachis hypogea*) et la canne à sucre (*Saccharum sp.*). Des légumes sont également cultivés : oignon (*Allium sp.*), tomate (*Lycopersicum sp.*), etc.

- **Les sols nus** correspondent au site où la végétation est très ouverte et discontinue ou a disparu suite à des érosions, mouvements de masse ou à un nouveau défrichement. Quelques touffes de graminées et plantes buissonnantes peuvent s'y observer ;

- **Les agglomérations** se répartissent sur les petites plaines littorales, sur les plateaux internes et/ou dans les cirques.

- **Les infrastructures administratives** sont principalement les routes, l'aérodrome de Ouani et le port.

Les autres types d'occupation non cartographiés concernent :

- **Les lambeaux de forêts** marécageuses sur sols hydromorphes créés par certains cours d'eau permanents [Adjanohoun *et al.*, 1982]. Ils se localisent sur la plaine littorale de Pomoni. Les espèces dominantes sont *Raphia ruffia* (« *mvangati* ») et *Erythrina fusca* (« *Mnougou* »).

- **Les prairies marécageuses** situées dans la plaine littorale de Pomoni avec comme plantes caractéristiques *Typhonodorum lindleyanum*, *Nymphaea stellata* et les cypéracées.

- **Les reboisements, les fourrés arbustifs ou buissonnants, les savanes, les prairies, les jachères herbacées sans ou avec arbres isolés ;**

- **Les carrières** pour la production de sable concassé (site de Havoua au Nord de Ouani, Mpouzini, Patsy, etc.) ;

- **Les cours d'eau et les lacs** (*cf.* I.3.4)



Photo 8- Association cultures arborées claires et herbacées : manguier, cocotier et bananier dans un bassin versant à Mirontsy

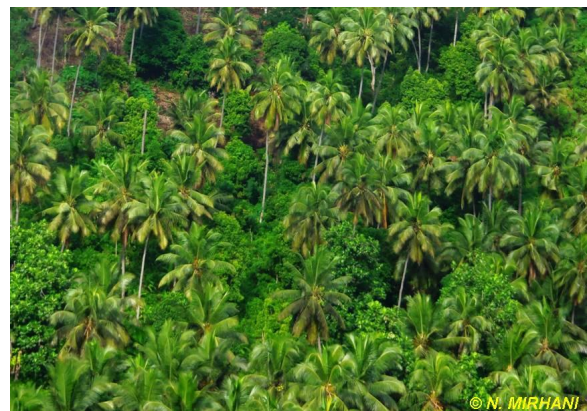


Photo 9- Association cultures arborées denses : cocotier, giroflier et arbre à pain dans le bassin versant de Mutsamudu (Bandra-nkowa)

Chapitre II. La méthodologie et les concepts

Après avoir décrit le milieu d'étude, nous allons développer la méthodologie et les concepts qui seront utilisés pour répondre à la problématique de la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants. Cette méthode comprend une approche naturaliste des milieux et une approche sociale.

☞ L'approche naturaliste des milieux concerne :

- des relevés de terrain et l'identification d'échantillons botaniques et pédologiques en laboratoire ;
- la collecte et les traitements de données spatiales et climatiques ;
- la caractérisation morphométriques des bassins versants.

☞ L'approche sociale se focalise sur :

- des enquêtes photographiques pour mettre en évidence les représentations paysagères des institutionnels, des écogardes et des habitants ;
- un recueil de témoignages sur les trajectoires paysagères des bassins versants ;
- des enquêtes ethno-écologiques et ethno-taxonomiques ;
- une évaluation sociale de la vulnérabilité floristique.

L'usage du concept de Géosystème de Bertrand nous a permis de concilier ces deux approches. Enfin, nous verrons les limites relatives aux données collectées : imagerie spatiale et statistiques.

II.1- L'approche naturaliste des milieux

La première phase de la recherche a été d'acquérir des connaissances générales sur la zone d'étude : Anjouan. Cette acquisition s'appuie sur la documentation, des observations par la cartographie et l'imagerie satellitaire et aérienne ainsi que des prospections préliminaires sur le terrain. Il a été par la suite question d'échantillonner des sites pilotes après avoir défini leurs limites respectives en se référant aux contextes géographiques et à la problématique. Après avoir cerné le milieu d'étude (le bassin versant), les composantes naturelles et anthropiques existantes ont fait l'objet d'un inventaire plus ou moins systématique. En effet, il existe très peu de données disponibles sur Anjouan, et a fortiori à grande échelle. L'étape suivante a été de décrire, caractériser et comparer ces composantes entre les bassins versants pilotes et analyser la dynamique de leur évolution pour pouvoir identifier les impacts des changements sur le fonctionnement hydrologique (*figure 22*).

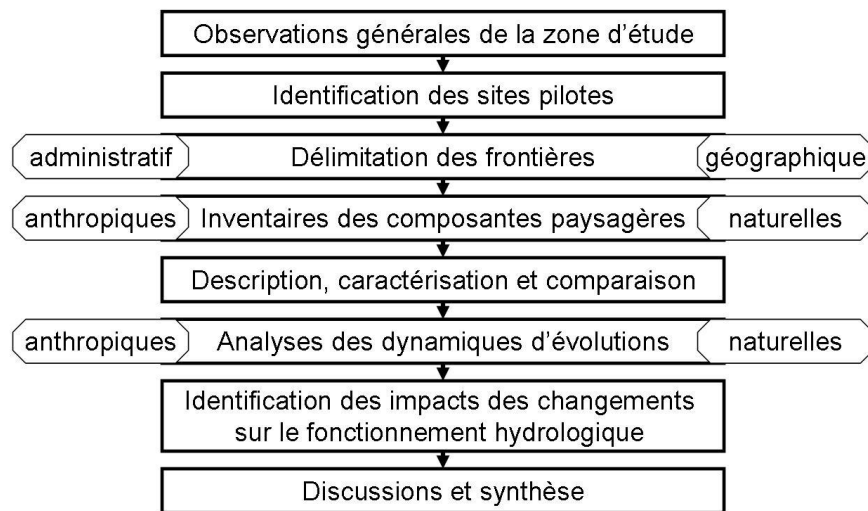


Figure 22-Enoncé de la démarche méthodologique

II.1.1- Des relevés à l'identification des échantillons écologiques

Selon l'accessibilité du site lors des prospections, nous avons suivi des transects pour constater l'agencement des unités paysagères du fond des vallées vers les hauts de versants. L'objectif a été d'identifier un versant constituant un échantillon représentatif de la typologie d'occupation des sols du bassin versant. A chaque zone de transition entre deux unités physiologiques différentes, nous avons pris les coordonnées par GPS qui ont été ensuite projetées sur une carte topographique pour définir les altitudes exactes et spatialiser le transect. Des photographies ont été prises sous différents angles à partir de points d'observations depuis les hauts de versants. Elles ont été traitées sous logiciel Photoshop CS6 et Adobe Illustrator CS pour établir des blocs-diagrammes permettant de visualiser le terrain comme en 3D.

Des collectes floristiques itinérantes ont été effectuées dans les fonds de vallées, sur les versants et les collines occupés par les forêts. Des inventaires floristiques ont été par la suite effectués dans des géotopes arborés et herbux riverains des cours d'eau permanents et intermittents. A cette échelle, nous avons tenu compte des paramètres :

- mésologiques, dont le nom de la localité, le type d'habitat écologique, les coordonnées géographiques, la topographie, le drainage et la température du sol ;
- floristiques concernant les noms scientifiques et vernaculaires, l'abondance numérique par espèce et l'état phénologique ;
- dendrométriques dont le Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) et la Hauteur Maximale (HM).

Chaque échantillon floristique comportait un numéro de collecte enregistré dans une fiche d'inventaire (*cf. annexe A*) pour faciliter l'identification vernaculaire auprès des paysans. L'ensemble a été mis dans une presse herbier de façon à aplatir et dessécher les feuilles pour être déterminées auprès des systématiciens de la botanique aux Comores, au Laboratoire de Biologie et d'Ecologie Végétales à l'Université d'Antananarivo et à l'herbaria de Tsimbazaza à Antananarivo (Madagascar). Il faut noter que nous avons préalablement identifié certains échantillons en ayant recours à la littérature botanique, plus particulièrement celle de Davies [2008], Le Bourgeois *et al.* [2008], Daroussi [2006], Labat *et al.* [2006] et Adjanohoun *et al.* [1992], et en consultant des sites web spécialisés : *Tropicos*, *Kew Royal Botanic Gardens*, *The Plant List*, *Jstor Plant Science*, etc. (*cf. bibliographie*).

Chaque relevé floristique a été suivi de prélèvements d'échantillons pédologiques effectués par tarière EDELMAN. Le code et la couleur du sol ont été identifiés sur le terrain à l'aide de « *Munsell Soil - Color Charts* » (Charte de couleurs des sols Munsell). Les échantillons ont été par la suite conservés dans des sacs en plastique à l'air libre avec des étiquettes comportant la date et le numéro de relevé ainsi que la profondeur de l'horizon. Les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire de FOFIFA²³ à Madagascar et au LETG-Angers LEESA²⁴ à l'Université d'Angers (*photo 10*) respectivement en février et septembre 2011. Les paramètres retenus ont été le pH et la granulométrie mais l'analyse de cette dernière n'a pas pu être effectuée à Angers vu la durée de notre séjour. Le protocole de mesure de pH des sols dans l'eau et le KCl utilisé au LETG-Angers LEESA était :

- 1- Séchage, broyage des mottes et tamisage du sol à 2 mm de diamètre ;
- 2- Etalonnage du pH-mètre ;
- 3- Pesage du sol, soit 3 échantillons de 20 g pour chaque horizon ;
- 4- Transfert de chaque 20 g de sol dans un bécher de 150 ml ;
- 5- Ajout de 25 ml d'eau distillée dans le bécher ;
- 6- Agitation (10 mn) - repos (15 mn) - agitation (10 mn) des mélanges sous agitateur magnétique ;
- 7- Mesure de pH dans l'eau sous agitation pour chaque échantillon ;
- 8- Ajout de 3,72 g de KCl à la suspension précédente ;

²³ FOFIFA : Foibe Fikarohana momba ny Fambolena (Centre national de la recherche appliquée au développement rural)

²⁴ LETG : Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique

LEESA : Laboratoire d'Etudes Environnementales des Systèmes Anthropisés

9- Reprise de l'agitation sous agitateur pendant 5 mn ;

10- Mesure de pH dans KCl sous agitation.

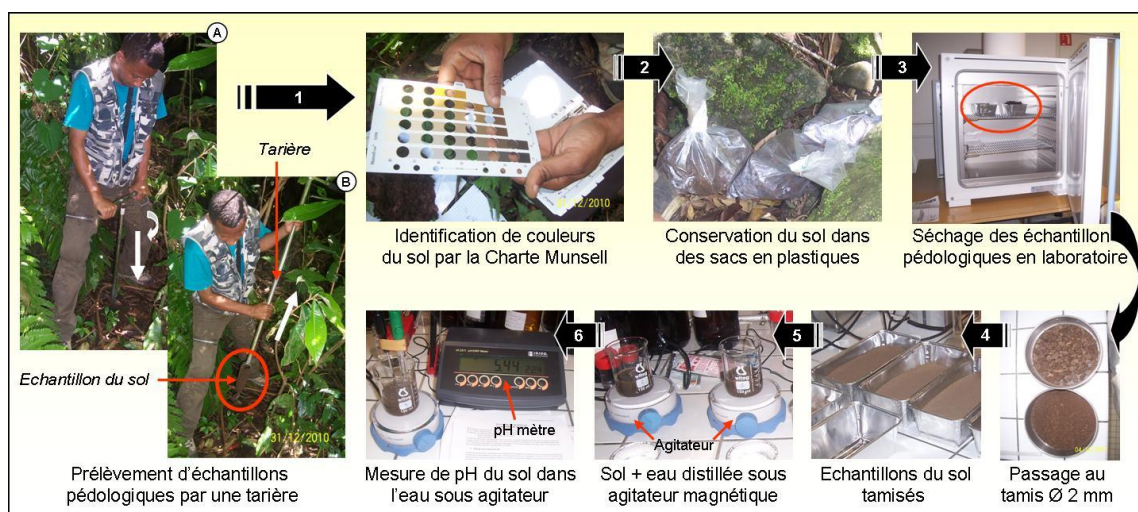


Photo 10-De la collecte aux analyses des échantillons pédologiques

II.1.2 - L'acquisition et les sources des données spatiales

Dans le cadre d'un projet Planet Action, des images satellites SPOT de juillet 1989, juillet 2007 et d'avril 2008 de résolutions spatiales respectives de 20 m et 2,5 m, ont été acquises en décembre 2010 et janvier 2011. Elles sont géoréférencées en UTM zone 38 Sud -WGS 84.

Des photographies aériennes de l'IGN au 1/20 000 datant de 1969 ont été acquises en septembre 2011 et en février 2012 (Financement du laboratoire ESO-Angers). D'autres photographies aériennes au 1/25 000 issues de la mission de la société française SINTEGRA en 1998 ont été récupérées par scan à haute résolution (750 ppp – points par pouce) au Ministère de l'Environnement de l'Union des Comores en août 2011. Des photographies aériennes de 1950 au 1/20 000 ne couvrant que les zones littorales d'Anjouan, ont été récupérées auprès d'un doctorant de l'Université de La Réunion en juillet 2012.

Les données altimétriques exploitées dans cette recherche sont issues de deux sources différentes. Les premières sont de la mission SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de février 2000 effectuée par la navette spatiale américaine Endeavour parrainée par la NASA²⁵. Les images rasters ont été téléchargées gratuitement à partir du site <http://srtm.csi.cgiar.org> (en fichier format *TIF*). Elles couvrent l'ensemble du territoire mais leur résolution spatiale qui est d'environ 90 m reste faible à l'échelle du bassin

²⁵NASA : National Aeronautics and Space Administration

versant. De ce fait, d'autres informations altimétriques au pas de 20 m ont été extraites après numérisation de la carte topographique d'Anjouan au 1/50 000 rééditée par l'IGN en 1995.

Les tracés du littoral d'Anjouan utilisés lors de la cartographie sont extraits :

- des zones administratives de la base de données mondiale DIVA-GIS en format *shapefile* via le lien <http://www.diva-gis.org/gdata> (en octobre 2011) ;
- de la carte topographique de l'IGN au 1/50 000 publiée en 1955 puis rééditée en 1995 après une mise à jour partielle sur le terrain en 1993.

II.1.3- Les traitements des données spatiales

Traitements et intégration de l'image SPOT 5 dans un SIG (figure 23)

Bien que nous ayons trois dates d'images satellites à disposition, une seule a été utilisée car les deux autres présentaient une couverture nuageuse trop dense sur les sites d'étude. Les traitements de l'image SPOT 5 de juillet 2007 à 2,5 m de résolution spatiale avaient pour objectif de créer rapidement des informations thématiques sur l'occupation du sol de l'île qui font défaut à Anjouan, particulièrement à l'échelle des bassins-versants. Nous avons donc simplement mis en œuvre des chaînes de traitement automatique sous le logiciel ENVI 4.8. Différentes compositions colorées ont été créées dans une première étape d'amélioration visuelle de ces images et facilitant leur interprétation thématique. Des « cartographies automatiques » ont ensuite été réalisées avec des classifications non dirigées puis dirigées utilisant les mêmes canaux Bleu-Vert (canal 1), Rouge (canal 2) et Proche InfraRouge (canal 3). La détermination du nombre de classes nécessaires et significatives des unités d'occupation du sol a été faite après plusieurs essais. L'identification thématique des classes issues de ces classifications a été réalisée à posteriori en se basant sur les caractéristiques spectrales et spatiales (forme, structure, ...) des objets, ainsi que sur le terrain et d'après d'autres documents cartographiques. Certaines de ces classes qui présentaient des confusions entre objets ou apportant des précisions thématiquement non significatives, ont été « retravaillées » par systèmes de masques et itération de classifications sur les pixels concernés. Nous avons ainsi « éliminé » une partie des nuages, problème récurrent sur les images de l'île d'Anjouan, pour faciliter les traitements. Des indices thématiques ont également été appliqués pour améliorer la lecture et l'extraction d'informations thématiques des images. Nous avons notamment utilisé un indice de végétation NDVI ($\text{PIR} - \text{R} / \text{PIR} + \text{R}$) [Mirhani *et al.*, 2012c].

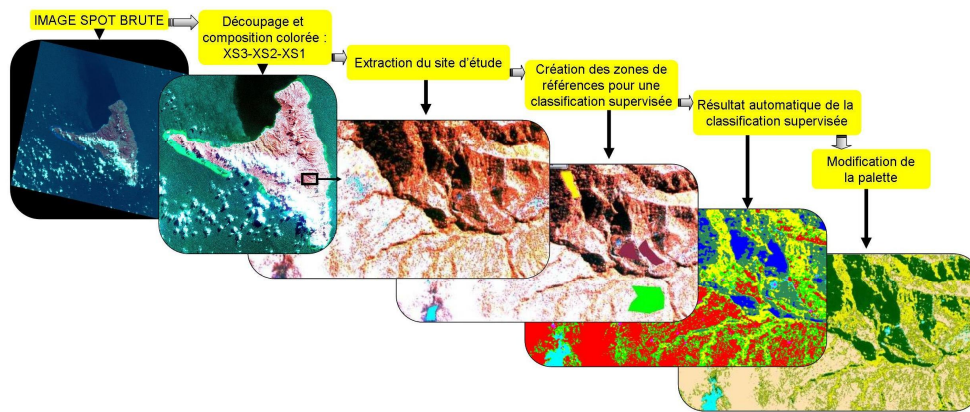


Figure 23- Protocole de traitements de l'image SPOT sous ENVI [MIRHANI *et al.*, 2012c]

A partir du logiciel MapInfo 8.5, nous avons intégré dans un SIG l'image SPOT traitée sous ENVI. L'objectif était d'ajouter à cette couche d'information sur l'occupation du sol d'autres données géolocalisées notamment extraites des images QuickBird de Google Earth et du fond de carte topographique de l'IGN. Pour ce faire, celle-ci a été numérisée puis géoréférencée. Lors de cette opération, nous avons utilisé le système de coordonnées de référence : géodésie WGS 84, projection UTM zone 38 Sud. Certains éléments (route, sentier, village et cours d'eau) ont été par la suite digitalisés pour créer des couches en vecteurs linéaires et surfaciques. Ces dernières ont été superposées les unes aux autres et projetées sur l'image SPOT en mode raster pour finalement créer une carte d'occupation des sols (*figure 24*).

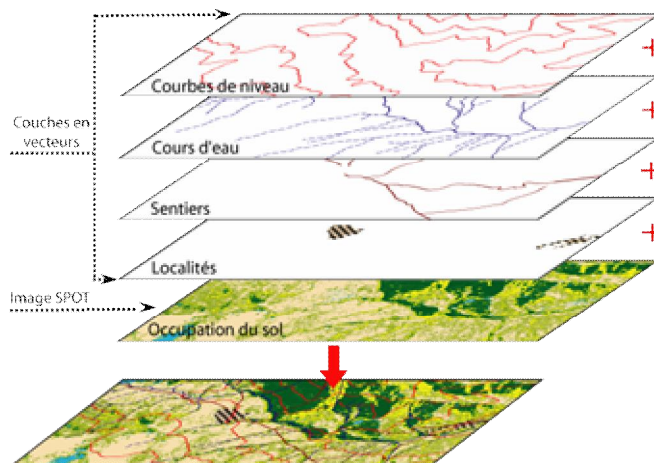


Figure 24-Intégration d'une image SPOT 5 dans un SIG

Traitements d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) SRTM à l'échelle insulaire

Les traitements du MNT SRTM au pas de 90 m ont été réalisés à partir des logiciels Surfer 10 et ArcGis 10 :

- Nous avons eu recours au logiciel Surfer 10 pour élaborer la carte du relief d'Anjouan à partir des données SRTM puisque, dans un premier temps, l'extension 3D

Analyst de la version d'ArcGis à notre disposition n'était pas prise en charge dans le contrat de licence avec le fournisseur ESRI. Sous surfer, la réalisation de ce type de carte nécessite de passer par l'option *New 3D Surface* pour afficher le MNT en relief, puis par *Trackball* pour changer le point d'observation en le positionnant à la verticale. Des modifications ont été apportées sur la teinte et l'estompage à partir de la fenêtre *Property Manager*. La palette des couleurs choisie est *Rainbow* (cf. figure 3 de chapitre I).

- Le logiciel ArcGis 10 a ensuite permis d'assurer les traitements de ces données SRTM pour l'élaboration des cartes de pentes et d'exposition. Leur réalisation requiert l'utilisation de l'extension *Spatial Analyst* via ses outils de *Surface : pente et exposition*. Suivant le protocole, les deux cartes sont générées automatiquement mais séparément à partir du même MNT SRTM en mode raster et l'unité retenue en sortie est le degré (figure 25). Des altitudes jugées trop basses au niveau de la côte ont été supprimées et les lignes de rivages utilisées sont celles extraites de la base de données DIVA-GIS.

Pour la carte de pentes, nous avons adopté la classification d'Emberger *et al.* [1983] (tableau 8).

Tableau 8- Classes de pentes, catégories de pentes et drainage externe

Bornes des classes			Catégorie de pente (d'après CURTIS <i>et al.</i> 1965	Type de drainage externe (d'après SYS <i>et al.</i> 1961
pourcent	degré	grade		
0			nulle	nul
1	0°34'	0,64		
4	2°06'	2,34		
9	5°11'	5,76	moyenne	moyen
16	9°00'	10,10		
25	13°59'	15,54		
36	19°48'	22,00	assez forte	rapide
49	26°06'	29,00		
64	32°43'	36,35	forte	
81	39°00'	43,34		
100	45°00'	50,00	très forte	
150	56°35'	62,87		
275	70°00'	77,77	abrupte	

Source : Emberger *et al.* [1983]

Suivant les limites de la résolution des pixels SRTM (90 m), nous avons défini cinq classes de pentes à l'échelle insulaire (cf. figure 4 de chapitre I):

- 0 à 5,11° (nulle - faible) ;
- 5,11 à 13,59° (moyenne) ;
- 13,59° à 26,06° (assez fort) ;
- 26,06° à 45° (fort) ;
- 45° à 65,48° (très forte).

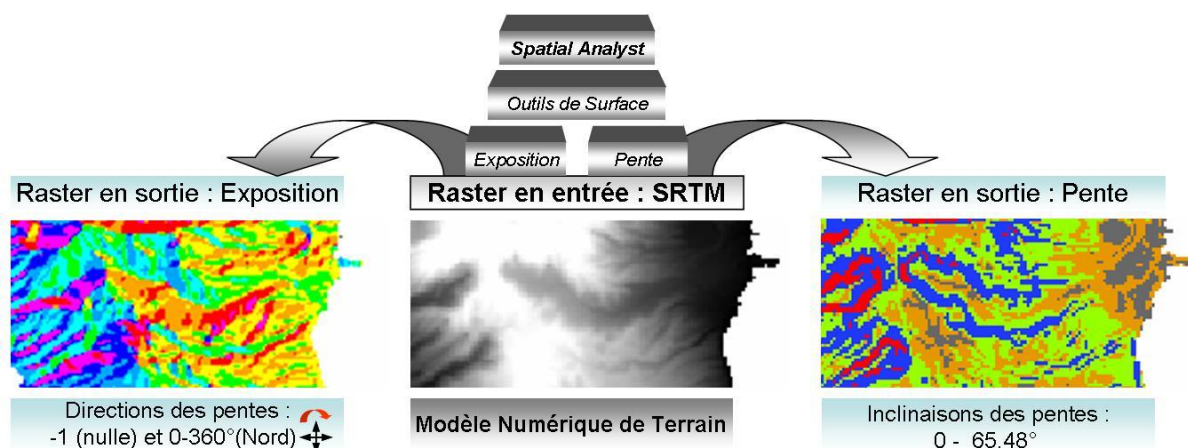


Figure 25- Procédée pour générer des cartes d'exposition et de pente

Dix expositions ont été générées après le traitement du MNT SRTM. Elles varient de -1 (pente sans direction) puis de 0° (N) à 360° (N) suivant le sens des aiguilles d'une montre. Elles ont toutes été retenues sans paramétrage pour la carte d'exposition (cf. figure 9 de chapitre I).

Elaboration d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à l'échelle des bassins versants

Pour la réalisation des MNT à l'échelle des bassins versants, les courbes de niveau de la carte topographique de l'IGN au 1/50 000 ont été vectorisées et leurs altitudes renseignées dans une table sous MapInfo. A partir de son module *Vertical Mapper*, ces vecteurs linéaires ont été convertis en nuages de points – « *Poly-to-Point* ». Ensuite, une grille numérique a été créée en utilisant la méthode d'interpolation par triangulation avec lissage – « *Triangulation with Smoothing* ». L'option « *relief shading* » a été activée pour ajouter l'estompage. Le MNT ainsi établi au pas de 20 m a été utilisé pour générer des cartes de pente et d'exposition, de courbes de niveau par spécification de l'équidistance, des profils de vallées et des blocs tridimensionnels.

La carte des pentes a été utilisée parmi les données d'entrée pour produire un modèle d'aménagement et définir les limites de la déforestation à ne pas dépasser (à partir de 45°). Quant à la carte d'occupation des sols issue de l'image SPOT, elle a servi de référence pour évaluer l'état de la forêt par rapport à ces limites de la déforestation. Afin de donner une vue réaliste du terrain, les deux cartes ont été transcrites en 3D via l'option « *Make 3D Drape file* » de *Vertical Mapper*.

Les résultats des traitements de ces données spatiales sont donnés au chapitre III (cf. III. 1, III.2 et III.3) et au chapitre VI (cf. VI.3.2).

La photo-interprétation

Les images satellites Spot ont été complétées par l'utilisation de photographies aériennes de différentes dates et d'images Quickbird téléchargées à partir du site Google Earth. Elles apportent leur résolution spatiale beaucoup plus fine (centimétrique) et la possibilité de réaliser des suivis diachroniques rétrospectifs jusqu'aux années 1950. Deux approches de photo-interprétation de l'imagerie aérienne et QuickBird de Google Earth ont été adoptées :

- Nous avons d'abord procédé à une Interprétation Rapide Visuelle (IRV) qui consiste à identifier des objets directement visibles et reconnaissables sur l'image. Dans d'autres cas, les objets ont été caractérisés suivant la densité, la forme géométrique (linéaire, rectangulaire, circulaire, etc.), la teinte (foncée, claire), la texture (lisse, rugueuse), la structure (régulière, irrégulière) et la taille pour faciliter leur délimitation spatiale et leur identification. Sur le terrain, les photographies les plus anciennes ont été montrées à quelques doyens des villages concernés pour ouvrir les discussions et clarifier certains points ambigus sur l'occupation antérieure des sols. Pour pouvoir rendre comparable ces photographies avec de récentes images QuickBird de Google Earth à haute résolution spatiale de 2,4 à 60 cm, nous avons homogénéisé leur échelle, leur orientation et leur teinte. Par contre les photographies aériennes n'ont pas pu être géoréférencées. Les comparaisons restent donc purement qualitatives. Ce procédé offre la possibilité de faire un suivi diachronique pour mettre en évidence les rythmes et les modalités d'évolution de l'occupation du sol.

- Le second procédé consistait à faire de la photo-interprétation stéréoscopique. Nous avons utilisé un stéréoscope à miroir et de poche respectivement mis à la disposition par les Laboratoires Paysages de l'Institut National d'Horticulture et Paysage d'AgroCampus Ouest d'Angers et ESO-Angers de l'Université d'Angers. La photo-interprétation stéréoscopique nous a permis de mieux visualiser la typologie d'occupation des sols et d'identifier facilement les unités topographiques (visualisation en relief) des bassins versants. Nous présentons le protocole suivi :

La première étape a été de disposer les photographies aériennes (prises sous des angles de vue différentes) en paire sur une table plate de manière à se recouvrir pour permettre une visualisation en relief sous stéréoscope (*photo 11*). Un transparent a ensuite servi de support pour calquer les composantes du relief : interfluves, escarpements, rebords des dépressions, ruptures de pentes, chenaux, etc.

La photo et la figure suivantes montrent les dispositifs mis en place lors de la photo-interprétation permettant de recréer le relief.

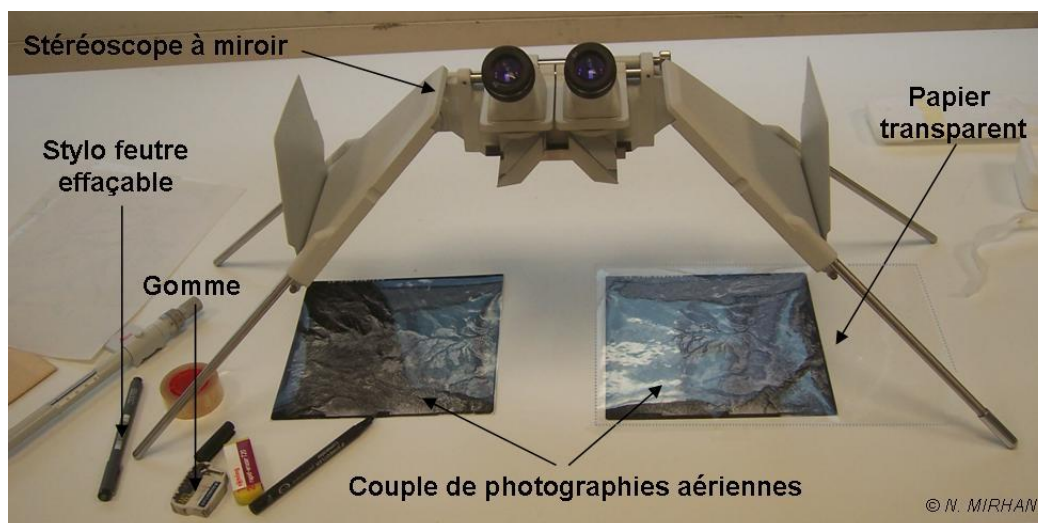
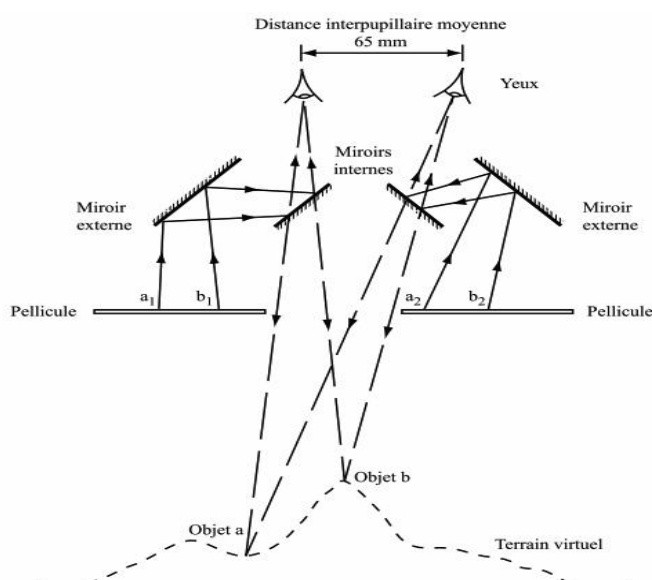


Photo 11- Dispositif mis en place pour la photo-interprétation sous stéréoscope à miroir



Modifié de Graham et Read, par PROVENCHER & DUBOIS [2007]

Figure 26- Création d'un relief virtuel par la photo-interprétation stéréoscopique

La phase préliminaire des tracés manuels a été de délimiter, sous stéréoscope, la vallée dans son ensemble, voire le bassin versant autant que la couverture photographique le permettant. Les lignes de convexité sommitale des versants ont été considérées comme des lignes de partage des eaux ou des interfluves ou comme des escarpements, notamment dans les secteurs en gorges des rivières. Leurs concavités basales ont été identifiées suivant les ruptures de pente qui, parfois, s'estompent progressivement. Ces concavités délimitent aussi les fonds de cuvettes (dépression fermée) et les fonds de vallées ou vallons (dépression ouverte). Le cours d'eau et ses affluents ont été confondus aux chenaux ou

talwegs. Les chutes d'eau ont été reconnues par les brusques dénivellements observés sous stéréoscope. Les tronçons du cours d'eau ont été définis selon l'alternance de morphologies de la vallée en V ou en berceau.

Pour couvrir l'étendue du bassin versant Ouzini-Ajaho, le protocole a nécessité cinq photographies aériennes au 1/ 10 000 (*photo 12*). Dans l'ensemble, cinq couples correspondants à six photographies ont été traités séparément sous stéréoscope ; ce qui a permis d'obtenir une mosaïque cartographique répartie en cinq coupures. Ces dernières ont été numérisées, orientées vers le Nord, mises à la même échelle puis digitalisées sous Adobe Illustrator CS pour obtenir au final la carte morphologique du bassin versant Ouzini-Ajaho.

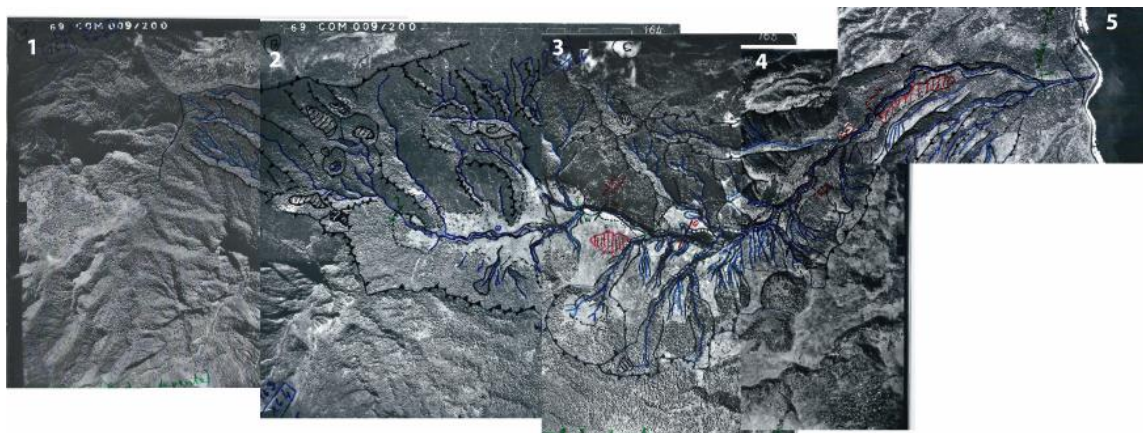


Photo 12- Mosaïque de photographies aériennes avec tracés du relief assistés par stéréoscope

II.1.4- La caractérisation morphométrique des bassins versants

La carte topographique de l'IGN numérisée et les MNT ont été exploités pour déterminer les caractéristiques morphométriques des bassins versants (superficie, périmètre, longueur, altitude ...) et du réseau hydrographique (longueur d'un cours d'eau et de ses affluents) ainsi que l'inclinaison des pentes. Les valeurs obtenues ont été intégrées dans diverses formules mathématiques pour calculer le dénivelé, la pente longitudinale, l'indice de compacité, la densité de drainage et le temps de concentration du bassin. Ces formules ont été extraites ou adaptées de Guermond [2005] et de Musy [2009] :

- **Le dénivelé** (en m) est la différence altitudinale entre le point de départ d'écoulement en amont (Ad) et celui d'acheminement à l'exutoire (Aa) :

$$D(m) = Ad - Aa$$

- **La pente longitudinale moyenne** de la rivière (en m/km) est le rapport entre le dénivelé D et la longueur L du cours d'eau principal :

$$P(m/km) = \frac{D}{L}$$

- **L'indice de compacité de Gravelius (K_G)** est le rapport entre le périmètre d'un bassin et la circonférence d'un cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} ; \text{ avec } P : \text{Périmètre du bassin versant (km) et } A : \text{Surface du bassin versant (km}^2\text{)}$$

Le bassin versant est de forme quasiment circulaire lorsque l'indice K_G est proche de 1 et allongée lorsque l'indice est supérieur à 1.

- **La densité de drainage D_d** est le rapport entre la longueur du réseau hydrographique L_r (km) avec la surface A (km²) du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_r}{A}$$

- **Le temps de concentration** du bassin versant ou d'acheminement de l'eau à l'exutoire T_c (mn) varie selon les formules utilisées. Nous en avons retenu deux parmi celles citées par Guermond [2005] :

$$T_c = 7,62 \cdot \sqrt{\frac{A}{1000 \times S}} \text{ (Ventura)} ; \quad T_c = 0,02 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \text{ (Kirplich)}.$$

Où :

L : longueur du cours d'eau

S : pente moyenne du chemin hydraulique en m/m

A : surface du bassin en ha

Notons que ces deux formules ne prennent en compte que la superficie et quelques valeurs topographiques du bassin versant. De nombreux paramètres tels que la nature des formations géologiques et les types d'occupations du sol ont été négligés.

II.1.5- Les analyses des statistiques climatiques

Nous avons exploité les statistiques pluviométriques et thermiques locales de la station de l'aérodrome de Ouani et celles de WordClim couvrant l'ensemble de l'île. Les détails sont déjà donnés au chapitre I (cf. I.3.3 et I.3.4).

Les données pluviométriques de la station de Ouani que nous avons exploitées couvrent la période de 1981 à 2010, soit trois décennies de 30 ans. La moyenne décennale (P_{md}) a été calculée suivant la formule :

$$P_{md} = \frac{\sum P_{ca}}{n} , \text{ avec } P_{ca} : \text{précipitations cumulées par an et } n : \text{nombre d'années}$$

d'observations, soit 10 pour une décennie.

Quant aux **données thermiques**, les statistiques disponibles à la station de Ouani sont fragmentaires. La série statistique allant de 1981 à 2010 est lacunaire entre 1997 et 2004. Les moyennes thermiques mensuelles (T_m) ont été obtenues à partir de la formule :

$$T_m = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} . \text{ Les températures moyennes annuelles } (T_{ma}) \text{ sont calculées suivant la}$$

$$\text{formule : } T_{ma} = \frac{\sum T_m}{n} , \text{ avec } n = 12.$$

La capacité érosive du climat (C) a été déterminée à partir de deux formules de Fournier [1960], cité par Brouwers [1973]. Les statistiques pluviométriques de WorldClim de 1950 à 2000 représentent des moyennes insulaires et celles de l'aérodrome de Ouani de 1981 à 2010 des moyennes locales (*cf. tableau 1 de chapitre I*). Elles sont donc utilisées pour déterminer la valeur C qui est la capacité érosive :

$$C = \frac{Ph^2}{Pa} \text{ avec } Ph : \text{ pluviométrie du mois le plus humide et } Pa : \text{ moyenne pluviométrique annuelle sur la période d'observations (51 ans pour Anjouan et 30 ans pour Ouani).}$$

La capacité érosive C est de :

$C_{1950-2000} = 75,9$ pour Anjouan et $C_{1981-2010} = 51,9$ pour la localité de Ouani. On peut donc évaluer la dégradation spécifique (Ds) en t/ha/an :

- Pour relief accentué : $Ds = 52,49C - 513,21$
- Pour le relief peu accentué : $Ds = 27,12C - 475,4$

Cette formule a été utilisée par Brouwers [1973] à Anjouan. L'utilisateur ne fournit pas de détails sur les indices de calcul de Fournier, sur le « relief accentué » et « le relief peu accentué ». Mais la formule permet de faire des comparaisons entre les capacités érosives insulaires et locales. Les résultats sont donnés au chapitre VI (*cf. VI.2.1*).

II.2- L'approche sociale

II.2.1- L'enquête sur les représentations paysagères

Dans ce travail, nous nous sommes focalisés sur une enquête appuyée sur des photographies d'unités paysagères présentées aux enquêtés pour dégager les différentes représentations paysagères des acteurs de l'aménagement et la gestion des bassins versants et leurs ressources :

- Les **institutionnels** chargés de la gestion des territoires et des ressources qui influencent les décisions politiques en termes de législations et d'aménagement. L'enquête s'intéresse surtout au personnel de la direction de l'environnement et du tourisme et de leur

commissariat, aux universitaires et doctorants impliqués dans des projets ou programmes de recherche et aux membres des ONG et associations locales intervenant en milieux ruraux.

- Les **écogardes** qui sont issus de la collectivité locale mais formés et sensibilisés en principe par les institutionnels. Leur rôle est de sensibiliser les utilisateurs sur la législation environnementale et contrôler sa mise en application. On considère que leur regard est à la fois interne et externe, donc intermédiaire.

- Les **habitants** qui sont les principaux artisans du paysage rural ont souvent un regard qui a intériorisé des idées parfois préconçues qui leur masquent certaines réalités.

Les unités paysagères choisies pour l'enquête ont pu être identifiées après de longues observations cartographiques et de l'imagerie aérienne et satellitale. Nous avons retenu les zones forestières, culturelles et habitées qui caractérisent l'occupation du sol d'Anjouan. A ces zones, viennent s'ajouter les fonds de vallées, autre entité paysagère linéaire. Ici, il a été question de choisir un cours d'eau présentant tous les cas de figures au cours de l'année : états en étiage, en crue et à sec. Ces composantes paysagères ont été photographiées. Constituées en planche (*photos 13 & 14*), ces images ont été accompagnées d'une fiche d'enquête pour être montrées aux concernés. On a demandé à ces derniers d'indiquer une seule unité paysagère (A, B ou C) et un seul état du cours d'eau (D, E ou F) pour lesquels ils ont le plus de préférence et de justifier leur choix. D'autres données complémentaires dont la date d'entretien, l'âge, le sexe et la fonction de l'enquêté ont été enregistrées dans la fiche. Toutes les informations recueillies ont été traitées sous le logiciel Sphinx Plus². Les résultats ont été confrontés pour identifier les différentes représentations paysagères entre les trois catégories d'acteurs : institutionnels, éco-gardes et habitants.

Le paysage perçu par les observateurs ou les enquêtés à travers la photographie est virtuel. Sur le terrain, il subit des transformations qui s'inscrivent dans une trajectoire historique qui mérite d'être connue.

II.2.2- Un recueil des témoignages sur les trajectoires paysagères

La collecte d'informations sur l'histoire des paysages a comme objectif de compléter et renforcer l'interprétation des statistiques climatiques et démographiques et la photo-interprétation. Pour ce faire, nous avons mené une double enquête : individuelle semi-structurée auprès du doyen et du chef de village et par focus groupe composé de sept

personnes apparemment âgées de plus de 45 ans pour comprendre la trajectoire historique des composantes paysagères. Il s'agit d'obtenir une description des changements environnementaux vécus par les habitants ou témoignés par leurs aînés.

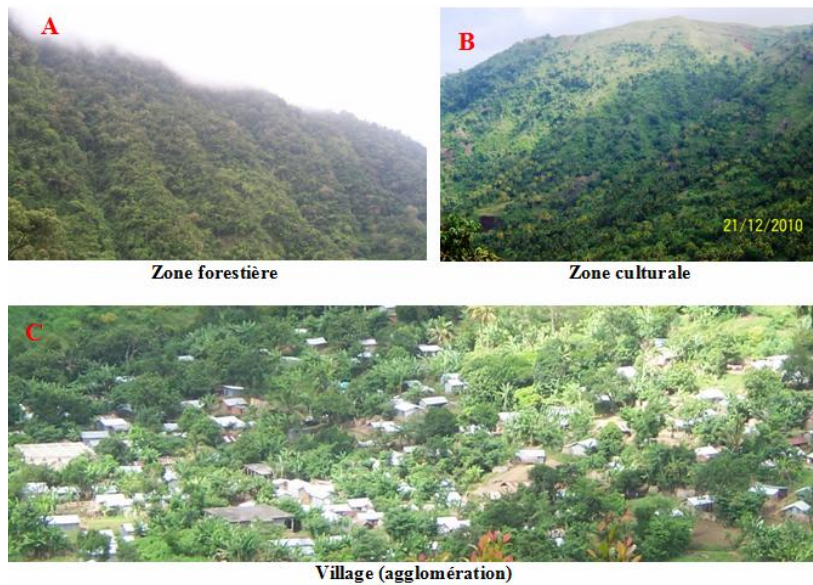


Photo 13- Les trois unités paysagères retenues pour l'enquête



Photo 14- Les trois états d'un cours d'eau intermittent

Date :	Nom : M/F -	
Localité :	Age : -30/+30	
	Fonction :	
1) Unité paysagère préférée		
A	B	C
Raisons :		
2) Etat de rivière préféré		
D	E	F
Raisons :		

Les entretiens se sont en principe déroulés à la fin de l'après-midi, moment pendant lequel les paysans ont l'habitude de se réunir en groupe pour palabrer. Un dictaphone a été utilisé pour enregistrer des informations. En premier lieu, nous avons cherché à connaître l'historique des localités concernées par la recherche : origines du peuplement, changements d'emplacements des localités, sites sacrés, etc. La deuxième phase des entretiens était consacrée à recueillir des témoignages sur les désastres ou les événements importants, leurs impacts sur la morphodynamique et l'hydrodynamique, l'évolution des aménagements hydrologiques, les transitions agraires pendant et après la colonisation et les tendances évolutives des cours d'eau au cours de ces 30 dernières années. Cet intervalle a été retenu comme échelle de référence temporelle puisqu'il est conventionnellement admis pour étudier les tendances climatiques. Toutes les données quantitatives et qualitatives archivées remontant à cette période ont été croisées avec les témoignages de l'enquête pour renforcer leurs interprétations.

II.2.3- Les enquêtes ethno-écologiques et ethno-taxonomiques

L'ethno-écologie et l'ethno-taxonomie s'inscrivent dans la lignée de l'ethnoscience qui, selon Dounias [2004], est un champ pluridisciplinaire qui se consacre aux savoirs et aux savoir-faire naturalistes d'une société, le plus souvent à tradition orale, à l'égard de son environnement physique et matériel.

Dans cette recherche, nos enquêtes ont été focalisées sur le substrat pédologique et la végétation qu'il supporte. La Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP) a été privilégiée. Notre approche est simple ; elle consiste à clarifier au préalable les objectifs de la recherche, à se comporter comme un élève dans une classe où les paysans sont les maîtres, à poser des questions relatives au sol et à la flore et à être attentif aux explications données. Les outils méthodologiques sont les échantillons floristiques et pédologiques, les photographies et une carte montrant les limites de la zone d'étude.

Tous les participants à la discussion ont été sollicités pour citer les types de sols environnants, donner les critères utilisés pour les différencier ainsi que leurs aptitudes culturales accompagnées des indicateurs, les classer en fonction de la sensibilité à l'érosion et les techniques mises en œuvre pour prévoir ou limiter ce phénomène. La finalité de l'apprentissage était de parvenir à dresser un profil pédologique présentant chaque horizon pour pouvoir établir une comparaison avec les résultats des relevés pédologiques effectués

sur le terrain et analysés en laboratoire suivant le protocole scientifique détaillé précédemment.

L'accès aux connaissances vernaculaires des plantes s'est fait par les enquêtes ethno-botaniques. Tous les échantillons floristiques collectés ont été amenés lors de la séance plénière et ont fait l'objet d'un tour de table pour une identification. Les informations collectées ont été progressivement enregistrées dans une fiche comportant :

- les numéros de collectes des espèces qui renvoient aux noms scientifiques ou vernaculaires ;
- les noms vernaculaires puisque « *la dénomination des plantes peut révéler, outre des informations sur leurs usages, des renseignements de nature écologique ou morphologique permettant de mieux les connaître et les décrire* [Ambe & Malaisse, s.d.] ;
- les types d'habitats (rive, versant, sommet de colline) pour connaître la distribution des espèces ;
- la description de l'utilisation et les organes utilisés dont les racines, feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et tiges ;
- un cadre d'observations et de remarques.

En complément à l'approche précédente, une enquête ethno-botanique individuelle a été réalisée pour identifier les plantes jugées importantes par la communauté locale et sur le plan écologique (fixation du sol, maintien des écoulements hydriques, nourriture des animaux). Nous avons demandé à chaque enquêté de nous citer au moins cinq espèces d'utilité socio-économique mais aussi écologique. Toutes les listes floristiques obtenues lors de l'enquête ont été traitées et croisées sous le logiciel Sphinx Plus² pour identifier le nombre de fois que chaque espèce a été citée. Correspondant au nombre de personnes (n) citant l'espèce, cette fréquence a été mise en rapport avec le nombre total de personnes enquêtées (N) pour calculer l'Indice d'Utilisation de l'espèce mis en œuvre par Lance *et al.* ; cités par Daroussi [2006] :

$$I(\%) = \frac{n}{N} \times 100$$

Si I est :

- entre 60 et 100% \Rightarrow l'espèce est très connue/utilisée ;
- entre 30 et 60% \Rightarrow l'espèce est moyennement utilisée/connue ;
- inférieur à 30% \Rightarrow l'espèce est peu utilisée/connue.

Les informations ethno-botaniques tirées des espèces ont été exploitées pour évaluer leur vulnérabilité à l'action anthropique (*cf. fiche d'enquête : annexe B*).

II.2.4- L'évaluation de la vulnérabilité floristique

Notre objectif a été de mettre en œuvre une méthode d'évaluation rapide de la vulnérabilité des espèces d'utilité socio-économique et culturelle qui soit adaptée en milieu tropical humide insulaire, reproductible, améliorable et proche des sciences sociales. En effet, la méthode généralement utilisée par l'UICN pour évaluer le statut des espèces, se focalise sur des critères écologiques : effectifs et maturité des individus ainsi que leur zone d'occurrence et d'occupation. Notre approche par contre ne prend pas en compte la flore dans son habitat naturel ; elle s'intéresse plutôt aux riverains qui l'exploitent pour connaître le degré de son utilisation et les organes utilisés. Un troisième critère, celui de la phytogéographie, a été incorporé dans la méthode pour définir le statut de chaque espèce : endémique, indigène, exotique ou non renseigné.

Nous affectons un score à chaque espèce pour son degré d'utilisation, pour les organes utilisés et pour son statut phytogéographique. Chaque score correspond à un degré de vulnérabilité :

Score 1 = vulnérabilité faible si :

- ⇒ l'indice d'utilisation indique que l'espèce est peu utilisée/connue (*cf. II.2.3*) ;
- ⇒ les organes exploités sont les branches, les feuilles, les fleurs et/ou les fruits ;
- ⇒ l'exotisme de l'espèce est confirmé par son statut phytogéographique.

Score 2 = vulnérabilité moyenne si :

- ⇒ l'indice d'utilisation indique que l'espèce est moyennement utilisée/connue (*cf. II.2.3*) ;
- ⇒ les racines font partie de l'un des organes exploités ;
- ⇒ l'indigénat de l'espèce est confirmé par son statut phytogéographique.

Score 3 = vulnérabilité élevée si :

- ⇒ l'indice d'utilisation indique que l'espèce est très utilisée/connue (*cf. II.2.3*) ;
- ⇒ le tronc fait partie de l'un des organes exploités ;
- ⇒ l'endémisme de l'espèce est confirmé par son statut phytogéographique.

Les scores de chaque espèce sont additionnés pour donner une note globale correspondant à son degré de vulnérabilité.

Quelques éléments d'explications

Dans les forêts denses humides en général, la régénération des plantes se fait par semi naturel. La probabilité de voir une essence forestière abattue se régénérer par rejets de souches est faible. L'exploitation du tronc est donc synonyme de la suppression de l'arbre.

C'est pour cette raison que nous avons attribué à cet organe le score 3. Le score 2 est valable pour l'exploitation des racines car une extraction abusive peut asphyxier la plante. Le prélèvement des feuilles, la cueillette des fleurs ou des fruits ou la coupe des branches d'une essence forestière ne constituent pas un danger potentiel à sa survie ; raison pour laquelle, le score 1 a été proposé à ces organes.

La vulnérabilité phytogéographique a été proposée suivant le statut de chaque espèce. Nous avons attribué :

- le score 3 à chaque **espèce endémique** (*endemic specie*) car elle « *ne se rencontre que dans une aire biogéographique de surface limitée, comme une île* » Ramade [2008]. La surexploitation de l'espèce peut aboutir à sa raréfaction et éventuellement à son extinction. La bio-invasion en constitue également une menace potentielle. En cas de disparition, il ne sera pas facile de la retrouver dans une autre région du monde pour pouvoir la restaurer dans son lieu d'origine.

- le score 2 à chaque **espèce indigène** ou **autochtone** (*indigenous specie*). Il s'agit d'une espèce non endémique ayant « *une répartition naturelle internationale* » Davies [2008]. Elle se rencontre dans d'autres territoires phytogéographiques que l'archipel des Comores ; ce qui permettra sa réintroduction en cas de disparition.

- le score 1 à chaque **espèce exotique** (*exotic specie*), c'est-à-dire que l'espèce a été introduite par l'homme aux Comores, elle vient loin de son aire naturelle (d'origine). Une telle espèce peut devenir envahissante si les conditions du milieu lui sont favorables par rapport aux espèces endémiques ou indigènes.

La vulnérabilité globale de l'espèce est la somme des trois scores qui lui seront attribués suivant son indice d'utilisation, l'organe exploité et son statut phytogéographique. Le total des scores de l'espèce varie entre 9 et 3. Dans la liste globale, l'espèce qui aura le score le plus élevé sera considérée comme étant la plus vulnérable.

$\text{Vulnérabilité globale d'une espèce} = \sum \text{Scores (Indice d'Utilisation + Organe cible + Statut phytogéographique)}$

La figure 27 récapitule la méthodologie développée pour la recherche. Trois étapes ont été suivies. La première concernait la documentation et les observations cartographiques. Elle est suivie de prospections préliminaires sur le terrain. Vient par la suite la collecte des données multi-sources : statistiques démographiques et climatiques, enquêtes, cartographie, botanique, pédologie, etc. Elle combine une double approche, l'une

sociale et l'autre naturaliste, qui nous amène à utiliser le concept de Géosystème de Bertrand permettant de concilier ces deux approches.

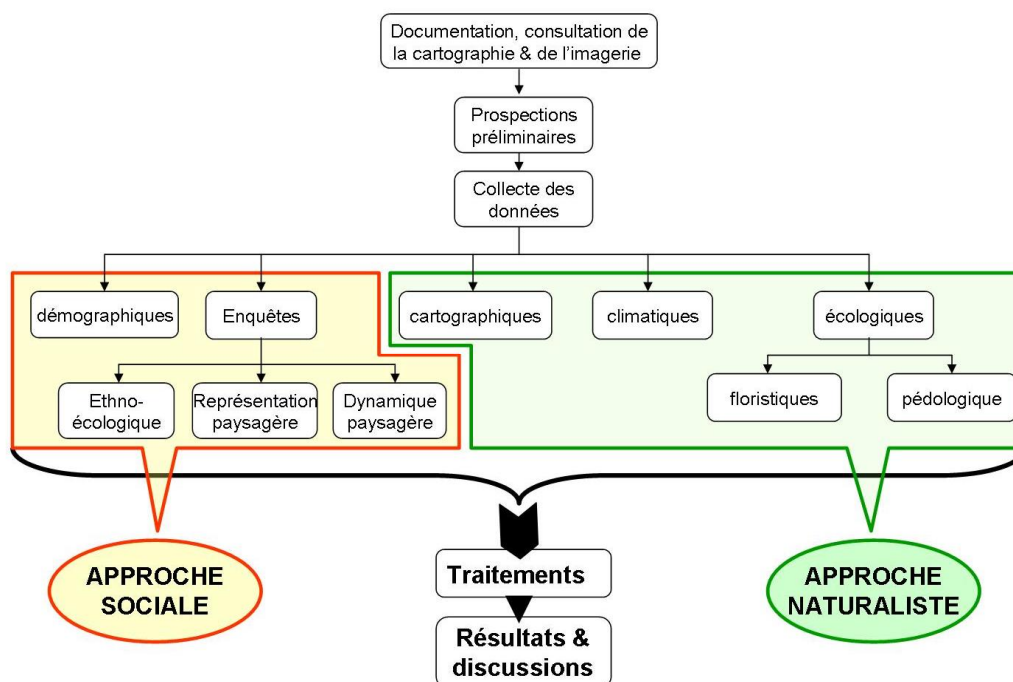


Figure 27- Méthode d'approche sociale et naturaliste

II.3- Le concept géosystème et le bassin versant

II.3.1- Le concept géosystème de G. Bertrand

Résultat d'une inspiration de la géographie physique de l'Ex-union Soviétique et de l'écologie scientifique, le concept de géosystème a été introduit en France à la fin des années 1960 par Georges Bertrand. En 1991, ce dernier annonce que le géosystème est le concept central et centralisateur de la géographie physique « intégrée ». Il désigne une unité spatiale bien délimitée et analysée à une échelle [Bertrand & Beroutchachvili, 1978 ; Burel & Baudry, 1999] comprise entre quelques kilomètres carrés et quelques centaines de kilomètres carrés [Bertrand, 1968]. La démarche analytique du géosystème est fondée sur une approche tripolaire :

- *naturaliste mettant en évidence l'interaction entre ses trois composantes biotiques, abiotique et anthropiques ;*
- *spatiale qui définit des unités spatiales à partir d'une grille chorologique à deux entrées : horizontale (géotope, géofaciès, géocomplexe, etc.) et verticale (géohorizons) ;*
- *temporelle et historique qui prend en compte aussi bien l'évolution (mémoire du géosystème) que la phénologie (« états » saisonniers du géosystème).*

Suivant ces trois pôles, le géosystème peut être schématisé de la façon suivante :

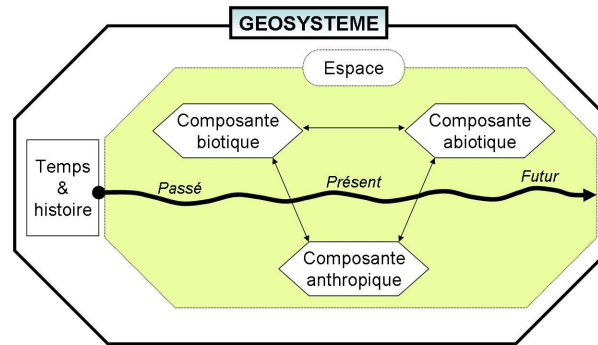


Figure 28- Structure d'un géosystème

La composante biotique comprend la flore et la faune sauvages et domestiquées. La composante abiotique regroupe le climat, l'énergie solaire, le sol, la roche, les eaux et la nécromasse. Ces deux composantes constituent en quelque sorte un écosystème puisque celui-ci est un ensemble d'éléments biotiques et abiotiques, donc une partie du géosystème. Quant à la composante anthropique qui est la troisième, elle est considérée par rapport aux degrés d'anthropisation sur celles qui précèdent dans une dynamique d'évolution spatio-temporelle. En d'autres termes, la combinaison de ces trois composantes « permet d'analyser la structure et le fonctionnement biophysique d'un espace géographique tel qu'il fonctionne actuellement, c'est-à-dire avec son degré d'anthropisation » [Bertrand & Bertrand, 2002].

Dans un géosystème, l'homme n'est pas considéré comme faisant face à la « nature » mais comme en faisant partie. Ainsi, après avoir utilisé depuis des décennies l'expression « impacts des sociétés ou de l'homme sur le milieu », Bertrand revient en 2002 pour la remettre en cause. Selon lui, l'impact signifie une action brutale qui s'exerce de l'extérieur de l'objet considéré. Or, les interventions des sociétés humaines ne sont pas toujours brutales et destructrices. Elles créeraient un système hybride qui est leur propre environnement et qui évolue sans cesse. « Anthropisation » ne veut donc pas dire forcément « dégradation ou destruction ». Un terrain défriché peut continuer à donner de bons rendements agricoles parce qu'il n'est pas dégradé. Il a seulement changé d'état d'occupation passant de « naturel » (forêt) à anthropique (culture).

Avec le concept d'écosystème, les rapports entre biocénose et biotope dominant et les méthodes appliquées ont des objectifs à finalité biologique. Cependant depuis 1981 Mazùr et Drdos, cités par Rougerie & Beroutchachvili [1991], ont remarqué que « l'écologie [...], à l'époque actuelle, s'éloigne de son objectif – l'écosystème – et se tourne vers la recherche concernant le paysage. Elle a puissamment élargi et enrichi le

champ de l'analyse sociale [Bertrand, 1978]. Cette volonté de prendre en compte la dimension anthropique des écosystèmes s'est affichée à travers les concepts d'« écosystème socio-écologique », les disciplines de l'« écologie de la restauration » et de l'« écologie du paysage ». La clé de cette approche est d'arrêter de considérer l'homme comme étant en dehors des écosystèmes mais plutôt comme faisant partie de la nature et donc des écosystèmes [Clewett & Aronson, 2010]. Autrement dit, l'homme est considéré comme partie intégrante des écosystèmes formant la biosphère [Burel & Baudry, 1999]. Mais son statut d'espèce envahissante, de perturbateur ou de destructeur d'écosystèmes, etc., ne changera pas dans les discours du courant écologique car l'écologie scientifique est bio-centrique. Le dualisme écologie-société sur lequel repose une part de la problématique sociale actuelle n'est donc, en réalité, qu'une fausse alternative puisque le premier terme est inadéquat par rapport à la nature qu'il est censé représenter [Bertrand, 1978].

Enfin, la configuration géosystémique de Bertrand montre que l'écosystème est dans le géosystème. Certains auteurs sont toutefois d'avis que le géosystème « *reste encore un concept peu développé, loin de la maturité scientifique de l'écosystème* » [Bertrand et Bertrand, 2000 ; cités par Müller, 2011].

II.3.2- Le bassin versant : un géosystème

La définition d'un bassin versant change selon que l'on s'intéresse à l'eau de surface ou à l'eau souterraine [Gangbazo, 2004]. Respectivement, on distingue un bassin topographique ou hydrographique et un bassin souterrain ou réel. Notre recherche se focalise sur le bassin topographique qui est naturellement délimité par une ligne de partage des eaux avec les autres bassins. Il prend une forme dépressionnaire quasi-circulaire ou allongée fermée ou ouverte. Il représente « le secteur géographique qui collecte les eaux d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau, soit par écoulement de surface (ruissellement), soit par écoulement souterrain (infiltration, percolation et résurgence de la nappe phréatique) » [Pourriot & Meybeck, 1995 ; cités par Saam, 1998]. Toutes les eaux de surface s'écoulent de l'amont vers un même point appelé exutoire [Gangbazo, 2004] situé en aval du bassin versant.

Fritsch [1995] définit le bassin versant suivant sa structure verticale et horizontale. Pour lui, il s'agit d'une unité fonctionnelle à trois dimensions composée d'un domaine souterrain constitué par les unités géologiques et les différents horizons du sol et d'un domaine superficiel et aérien qui est le lieu privilégié de la vie (plantes, animaux et

hommes). Cet agencement « conduit à considérer tout bassin comme un système complexe où interagissent de nombreux processus, d'intensité et de vitesse très variables dans l'espace et le temps » [Ambroise *et al.*, 1995]. Cette dynamique est déterminée par des composantes environnementales et anthropiques en rapport avec les différentes fonctions assurées par le bassin versant :

- **hydrologique** puisqu'il recueille l'eau de pluies, en stocke une partie, la restitue sous forme d'écoulement et d'évaporation. Dans de nombreuses recherches, il est considéré comme l'unité spatiale de référence hydrologique ;
- **écologique** dans la mesure où il constitue un habitat pour la faune et la flore ;
- **socio-économique et politique** car il constitue une unité de base pour la gestion, l'aménagement, la protection des ressources en eau [Ambroise *et al.*, 1995] et la résolution des conflits frontaliers ou liés à l'eau entre les communautés ;
- **socio-culturelle** du fait qu'il peut abriter des sites patrimoniaux, mémoriaux, mythiques, etc.

Doté d'une limite naturelle bien définie à l'intérieur de laquelle interagissent les facteurs biotiques, abiotiques et anthropiques, le bassin versant peut être assimilé à un géosystème en milieu insulaire.

II.4- Les limites relatives aux données

Diverses difficultés, notamment techniques, sont venues compliquer le traitement des différentes données : images SPOT, photographies aériennes et carte topographique.

II.4.1- Les images SPOT

Aux différentes dates d'enregistrement des images SPOT, de vastes superficies de l'île étaient couvertes de nuages qui masquent directement certaines zones et saturent et modifient le signal spectral de l'ensemble de la zone. La figure ci-dessous montre la qualité de l'imagerie à partir de compositions colorées combinant les canaux 1 (XS1), 2 (XS2) et 3 (XS3). Viennent s'ajouter les effets d'ombre engendrés par les nuages et le relief quasi-vertical qui ne permet pas la discrimination des objets en fonds de vallées. Nous avons tenté de résoudre ce problème par une technique de soustraction et de substitution des valeurs radiométriques couplant les images de 2007 et 2008 de même résolution (2,5 m). La résolution spatiale de 20 m de l'image SPOT de 1989 n'était pas compatible avec cette méthode. Ces différentes échelles d'observations entre les images ne

permettent pas un suivi diachronique même après rééchantillonnage. Tous ces paramètres ont compliqué les traitements ; ce qui a nécessité le recours aux photographies aériennes.

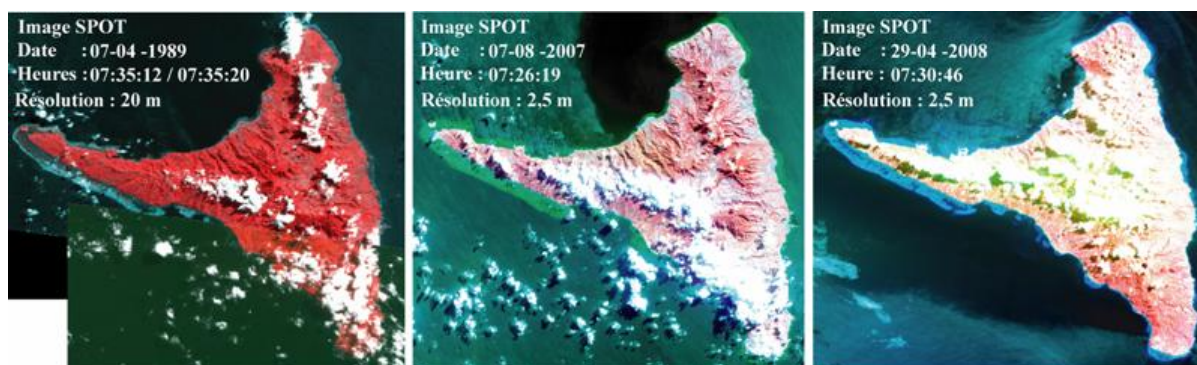


Figure 29- Nébulosité détériorant la qualité des images SPOT pendant l'acquisition

II.4.2- Les photographies aériennes

La projection centrale, qui est propre à la photographie aérienne verticale, engendre des déformations de plus en plus importantes au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre [Provencher & Dubois, 2007]. Dans ce cas, des corrections géométriques devraient être appliquées aux photographies aériennes (orthorectification). Nous avons eu recours au logiciel ArcGIS qui dispose d'un outil de géoréférencement et de rectification géométrique polynomiale de l'imagerie. Cependant, après plusieurs tentatives, les résultats de la transformation n'étaient pas concluants. Des décalages subsistaient entre la carte topographique de référence et les photographies aériennes. Cela est dû à la difficulté de repérer avec précision des couples de points homologues qui soient équitablement répartis entre les deux images, ainsi qu'au très fort relief de l'île. Au risque de générer d'autres erreurs, les photographies aériennes ont été au final exploitées sans rectification ni géoréférencement. Dans ces conditions, il s'avère impossible de les intégrer dans un SIG, définir une échelle exacte et faire une quantification des objets en termes de superficie. Pour un suivi diachronique, il devient compliqué d'exploiter une imagerie multi-source et multi-échelle non géoréférencée d'autant plus que les angles et les périodes des prises de vues, les tonalités et les échelles ou les résolutions sont différents : 1/20 000 et 1/25 000 respectivement pour les missions de 1969 et 1998 et 60 cm de résolution pour les images QuickBird de Google Earth. Cependant, vu la résolution de l'imagerie, il a été possible d'identifier clairement les changements d'occupation des sols par la technique d'échantillonnage des unités paysagères.

II.4.3- La carte topographique de référence

La carte topographique de l'IGN – 1995 d'Anjouan dispose des informations de base nécessaires à la recherche. Remontant à 1955, elle a bénéficié d'une mise à jour partielle en 1993 pour les localités et les routes. Mais ses coordonnées latitudinales conservent une marge d'erreur de 500 m. Cette erreur a été confirmée à partir d'une projection des points GPS pris sur le terrain. Pour pouvoir extraire les informations du fond de cette carte, il était impératif de la géoréférencer de nouveau sans tenir compte de ses coordonnées d'origine. Un contour d'Anjouan téléchargé à partir de la base de données mondiale DIVA-GIS²⁶ a été utilisé comme référence pour le calage sous ArcGIS. Mais les tracés du littoral ne sont pas similaires entre les deux cartes car les sources et les échelles diffèrent : image radar au pas de 90 m pour DIVA-GIS et photographie aérienne au 1/20 000 pour la carte de l'IGN (*figure 30*). On estime également une perte de pixels due aux plis de la carte avant le scan, donc une légère diminution de la précision du calage lors du géoréférencement. La carte ci-dessous fournit les latitudes et leurs coordonnées correspondantes. Les tracés (en noir) correspondant aux latitudes de l'IGN ont été conservés. Les coordonnées réelles sont saisies en couleur rouge et sont en degré (°) - minute (')- seconde ("). Pour respecter le format des coordonnées sources de la carte qui sont en degré (°) - minute ('), nous avons nouvellement tracé en rouge leurs latitudes correspondantes (*figure 31*).

II.4.4- Les statistiques climatiques

En dehors de la station météorologique de l'aérodrome de Ouani, on comptabilise actuellement 33 pluviomètres répartis à Anjouan. Cependant, l'accès aux données constitue un obstacle à la recherche. Les séries statistiques ont été interrompues sur de longues périodes suite à des crises politiques. Ainsi, des archives ont été perdues. Quelques pluviomètres ont été installés en amont des bassins versants pour ne citer que ceux d'Ouzini-Ajaho et de Lingoni-Pomoni. Mais l'exploitation des données est limitée :

- elles sont insuffisantes pour remonter à une période minimale de 30 ans sans interruption. Le pluviomètre d'Ouzini ne date que de 2010 par exemple ;

- leur crédibilité est partiellement mise en cause après des observations sur le terrain. On estime que les relevés ne sont pas effectués régulièrement car aucun contrôle ne se fait. La photo 15 (p. 68) illustre cette affirmation ; elle montre un pluviomètre d'une localité de la zone d'étude plein d'eau pendant quelques jours sans relevés.

²⁶ <http://www.diva-gis.org/gdata>

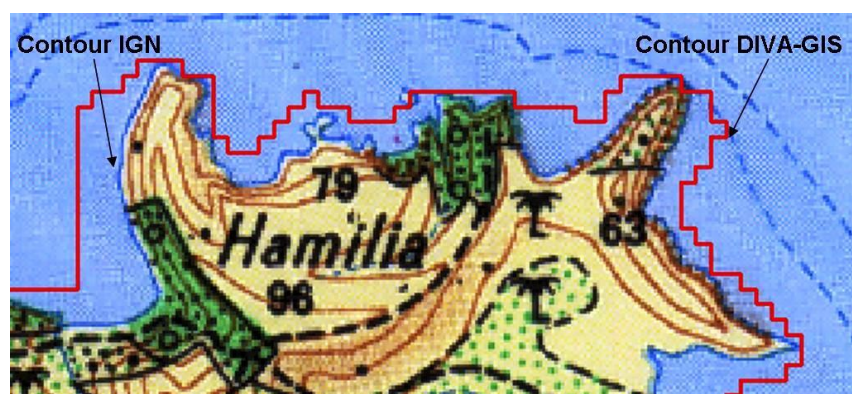


Figure 30- Décalage observé entre les contours de référence DIVA-GIS et de la carte topographique de l'IGN lors du géoréférencement

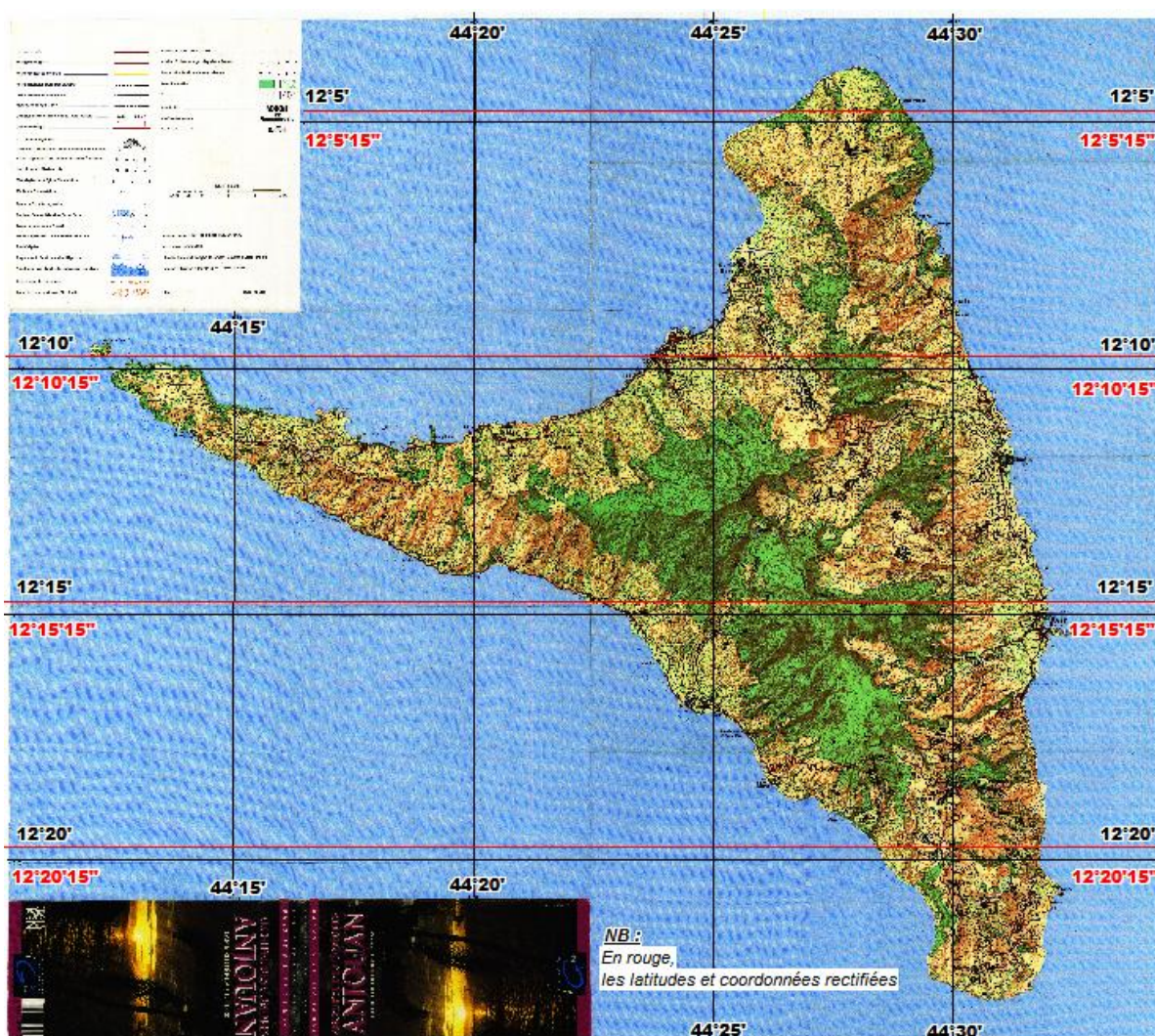


Figure 31- Correction de coordonnées latitudinales de la carte topographique de l'IGN 1995

En l'état actuel des choses, il n'est pas envisageable de mener une étude qui prenne en compte toutes les composantes climatiques à l'échelle d'Anjouan : température, évaporation, humidité, pression, vents et ensoleillement, etc. Les statistiques n'existent pas ;

il en résulte qu'aucune carte isothermique ou bioclimatique n'a été publiée jusqu'à présent. Un tel travail nécessite de recourir aux données des stations météorologiques les plus proches d'Anjouan en procédant à des interpolations ou d'utiliser directement celles de WorldClim avec un certain recul vu leur faible résolution spatiale de 1 km. L'usage de ces données spatiales pour cette recherche a donné des résultats proches de la réalité d'Anjouan bien que certaines anomalies soient remarquées :

- la moyenne pluviométrique la plus importante issue des interpolations n'excède pas 2000 mm. Or, les archives existantes et les récents relevés locaux fournissent des moyennes supérieures à cette valeur ;

- la spatialisation des statistiques pluviométriques donne une carte complètement décalée de la réalité affichant un gradient décroissant des précipitations de l'extrême Sud vers le Nord-Ouest (*figure 32*). Or, les observations du terrain et tous les relevés pluviométriques effectués à Anjouan montrent que le massif central est le plus arrosé et que les trois pointes de l'île sont les moins pluvieuses comme le montre la carte isohyète de 1977 (*figure 33*). On ignore les critères utilisés par Latrille & Subreville pour sa réalisation. L'on sait seulement que de nombreux postes de relevés pluviométriques étaient opérationnels en période coloniale à Anjouan.



Photo 15- Pluviomètre rempli d'eau pendant des jours sans relevés

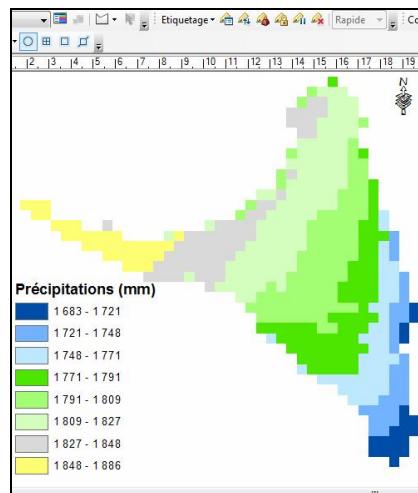


Figure 32- Répartition irréaliste des isohyètes issues des interpolations statiques de WorldClim

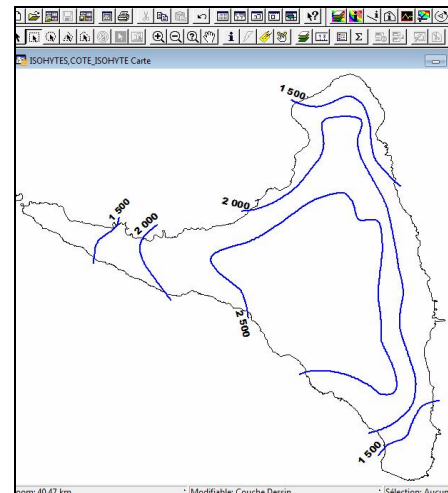


Figure 33- Répartition réaliste des isohyètes issues des statistiques locales

Partie II.
Les deux bassins versants pilotes :
Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni

Chapitre III. Analyse descriptive des composantes géosystémiques

Chapitre IV. Dynamiques d'évolution des composantes géosystémiques

Chapitre III. Analyse descriptive des composantes géosystémiques

Dans le chapitre I, nous avons présenté le milieu d'étude dans sa globalité à travers le cadre physique, les conditions hydro-climatologiques et l'occupation des sols. Mais le milieu dans son ensemble, nous l'avons vu, n'est pas suffisamment homogène pour pouvoir globaliser des phénomènes naturels relatifs à la problématique de l'eau. Pour mieux cerner les facteurs locaux des dynamiques globales présentées précédemment, il convient de changer d'échelle d'analyse et d'approche spatiale. Nous avons donc choisi deux bassins versants pilotes à comportements et à caractères hydrologiques différents (écoulements temporaires et permanents, petit fleuve et rivière) pour pouvoir établir des comparaisons entre leurs caractéristiques. Il s'agit des bassins d'Ouzini-Ajaho et de Lingoni-Pomoni qui se localisent respectivement dans les domaines hydrologiques de l'Est et du Sud-Ouest (*figure 34*). Suivant les isohyètes, ils sont positionnés dans les zones les plus arrosées d'Anjouan.

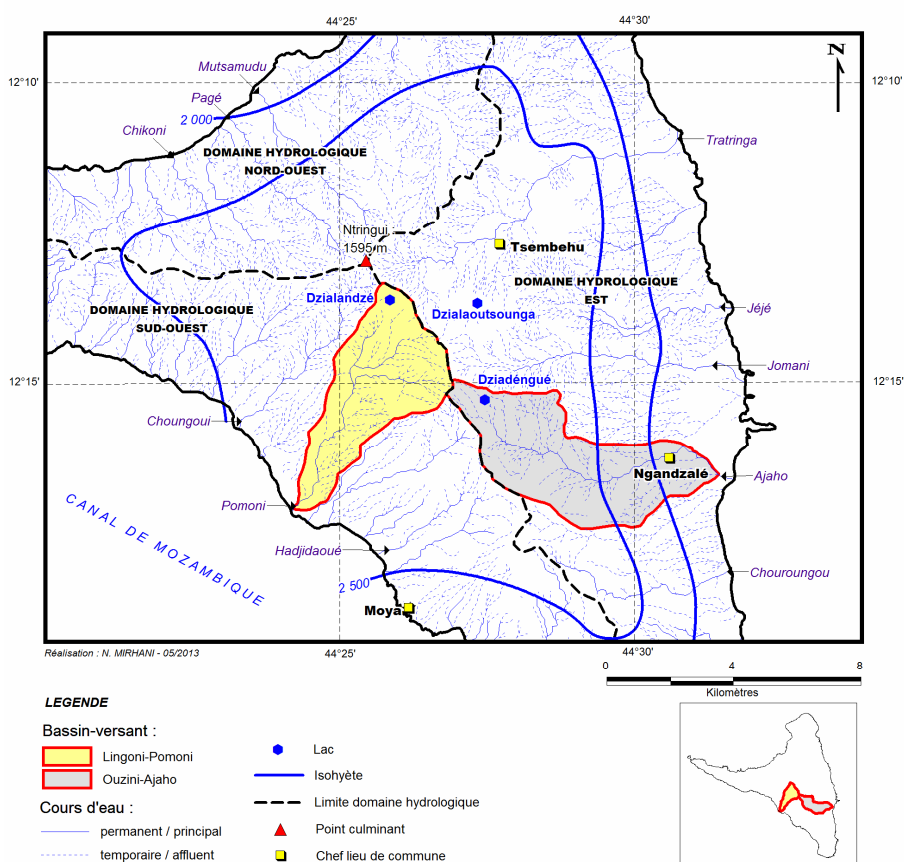


Figure 34- Localisation des bassins versants Lingoni-Pomoni et Ouzini-Ajaho

Administrativement, le bassin versant d'Ouzini-Ajaho fait partie de la Commune de Ngandzalé inscrite dans la préfecture de Domoni. Celui de Pomoni-Lingoni par contre est dans la commune de Moya dans la circonscription administrative de la préfecture de Sima. Mais sa partie amont incluant le lac Dzialandzé appartient à la commune de Bambao Mtrouni dont le chef-lieu est Tsembehu.

III.1- Le bassin versant Ouzini-Ajaho : un géosystème du domaine de l'Est

III.1.1- La morphologie d'ensemble

D'une forme allongée selon l'indice de compacité de Gravélius qui est de 1,4, le bassin versant Ouzini-Ajaho dispose d'un périmètre de 22 km pour 19 km², soit à peine 4,5 % de la superficie d'Anjouan. Les laves à faciès basaltiques les plus altérées de la série ancienne du volcanisme insulaire [Saint Ours et Pavlovsky, 1953] occupent une part importante du bassin, soit 48 % de superficie. Les pyroclastes (cendres, pouzzolane, etc.) en couvrent 46 %. Les séries récentes et intermédiaires ne se sont manifestées que vers l'aval du bassin. La carte géologique de l'île (*cf. figure 6*) illustre la répartition de ces différentes formations.

En retenant comme altitude de référence la moyenne de 418 m d'Anjouan, on remarque que 74 % de la superficie du bassin versant Ouzini-Ajaho se trouve au-dessus de cette valeur. A l'amont du bassin, s'observe une zone à pentes relativement faibles drainée par des cours d'eau temporaires dont l'encaissement moyen est de 60 m. Le lac Dziadéngué perché à 1190 m, occupe 0,02 % du bassin dans cette partie. Cette zone qui culmine à 1474 m est caractérisée par une pente moyenne de 26 % et est interrompue brutalement par un abrupt vers environ 1060 m d'altitude. On passe ensuite à un versant rectiligne très raide au Nord et plus convexo-concave au Sud avec des dénivelés de 232 à 351 m (pente de 85 % à 152,8 %) sur une longueur maximale de 321 m et limité à l'aval par une concavité basale. L'ensemble constitue une dépression allongée, petit cirque fermé à l'Ouest avec un fond plat d'une largeur maximale de 700 m (*figure 35 et photo 16*) où vient s'insérer la rivière Havundrékuni-Ajaho peu encaissée à l'amont et en profonde gorge vers l'aval. Plus à l'aval, au niveau de Salamani, la dépression « s'ouvre » jusqu'à la côte Est.

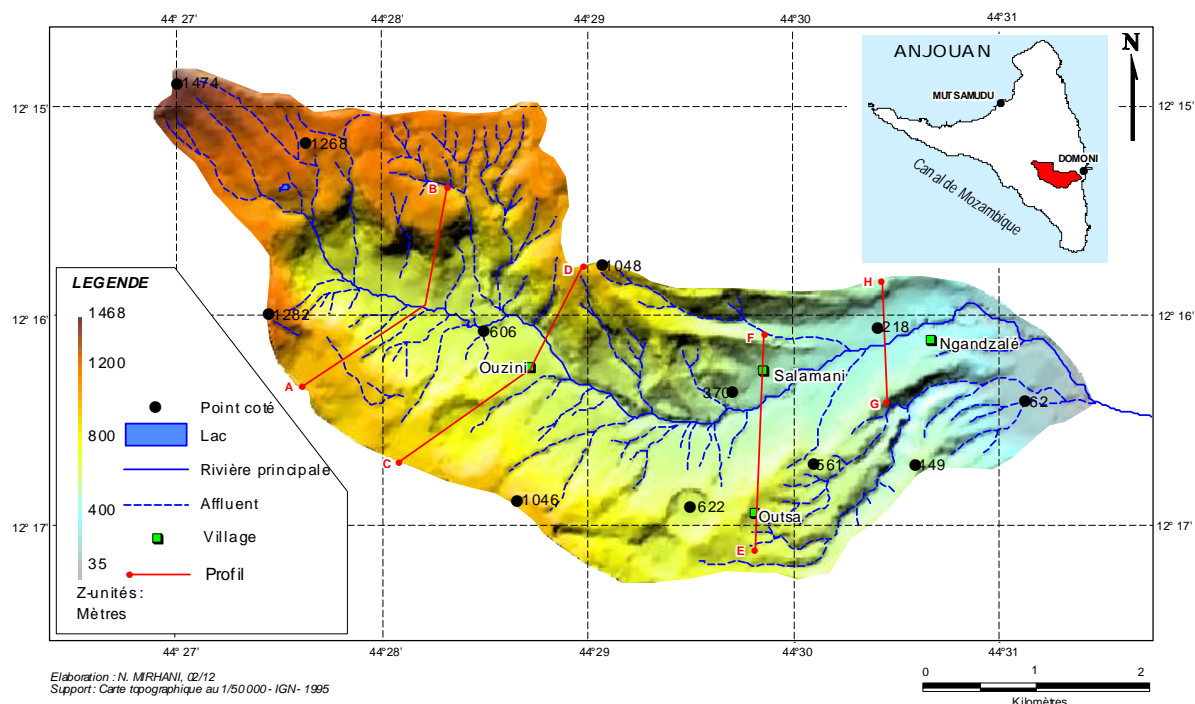


Figure 35- Morphologie du bassin versant Ouzini-Ajaho

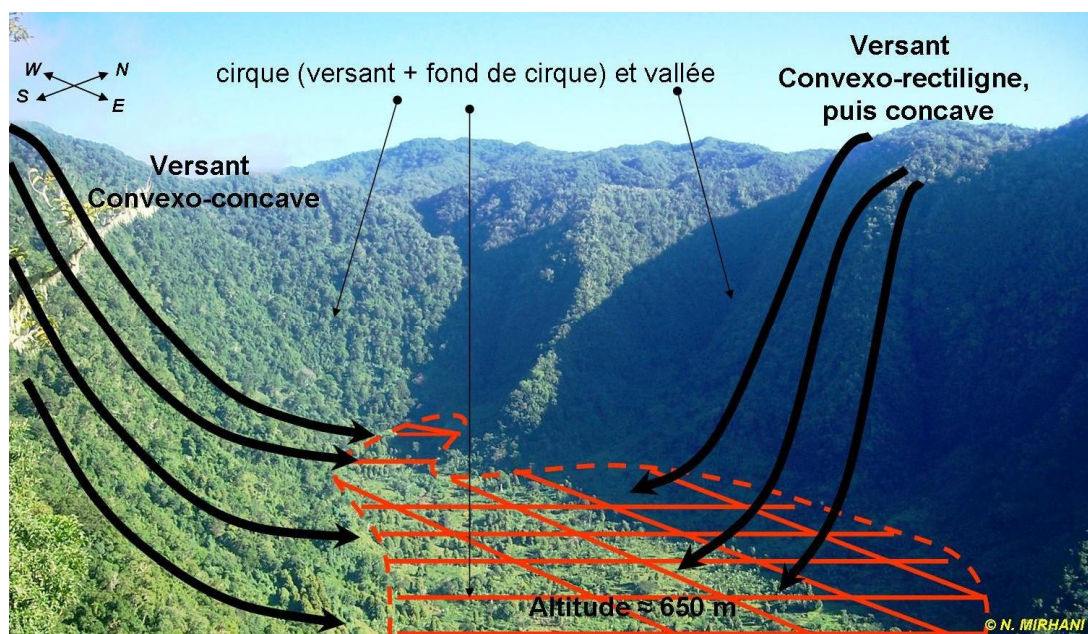


Photo 16- Morphologie du petit cirque d'Ouzini

Le bassin versant Ouzini-Ajaho est donc très accidenté avec des pentes très fortes, fortes et assez fortes s'étendant sur 74,7 % de la superficie dont 11,6 % dépassent 45°. Les abrupts qui ne couvrent que 0,02 % de la surface du bassin versant marquent cependant profondément les paysages. On note par contre que les pentes nulles ne s'étendent que sur 0,2 % dans le fond du cirque et à l'extrémité aval vers la côte (figure 36)²⁷.

Cette topographie du bassin versant Ouzini-Ajaho définit un drainage externe de rapide à très rapide selon la classification d'Emberger *et al.* [1983].

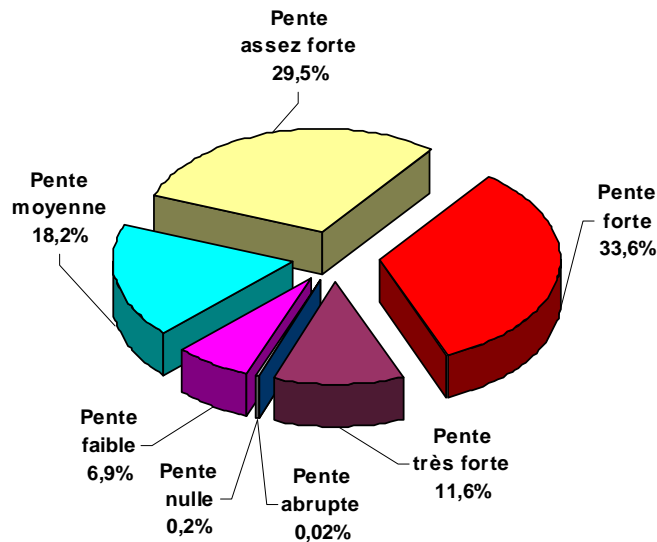


Figure 36- Superficie des pentes dans le bassin versant Ouzini-Ajaho

III.1.2- La morphométrie du réseau et des tronçons hydrographiques

Le cours d'eau principal Havundrékuni-Ajaho qui draine ce bassin versant prend sa source au-delà de 1000 m d'altitude. La longueur du chenal est de 9,5 km pour une pente longitudinale de 96,3 m/km (9,6%) (figure 37). Le réseau est de type dendritique avec une longueur totale de 68,9 km dont 59,4 km pour les affluents. La densité du drainage est de 3,6 km/km²; une valeur inférieure à celle d'Anjouan (4,3 km/km²) et du domaine de l'Est (4,2 km/km²). Le temps de concentration du bassin ou de l'acheminement de l'eau à l'exutoire s'estime à 92 mn d'après la formule de Ventura et à 62 mn d'après celle de Kirplich (*cf. II.1.4 de chapitre II*). Il est lié à la forme allongée du bassin versant favorable aux faibles débits de pointe de crue.

²⁷ NB. Les correspondances des pentes en degré sont présentées dans la partie méthodologique et à la carte des pentes (figure 38).

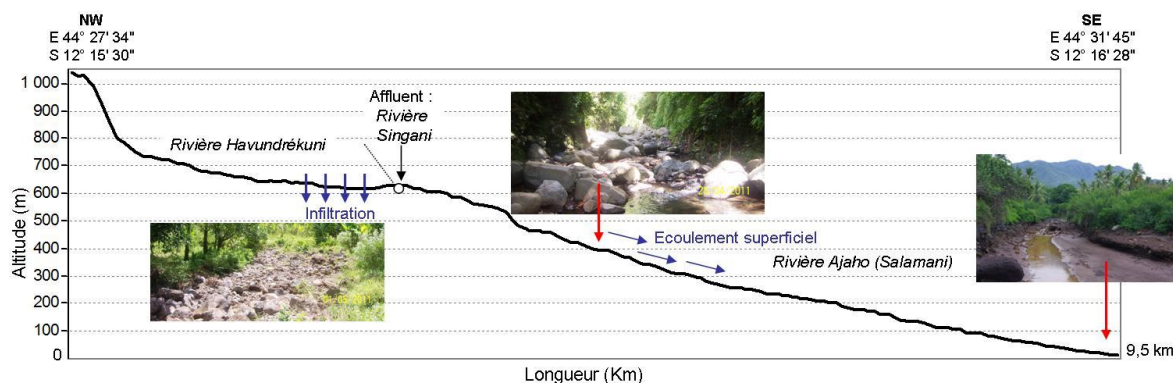


Figure 37- Chenal en long de la rivière Havundrékuni-Ajaho selon un MNT au pas de 90 m

Les figures 37, 38 et 39 montrent la répartition du cours d'eau Havundrékuni-Ajaho en cinq tronçons à l'intérieur desquels sont tracés quatre profils transversaux. Pour faciliter leur localisation et saisir leurs orientations, ces derniers sont limités aux extrémités par des points (AB, CD, EF, GH) qui sont rapportés sur les coupes topographiques réalisées à partir du MNT. Dans chaque tronçon, l'interprétation s'appuie sur le MNT, la carte des pentes et le profil longitudinal et transversal du chenal. Nous nous focaliserons sur la dénivellation des versants par rapport au chenal, leur morphologie et l'intensité de leur déclivité. Pour alléger la caractérisation des profils transversaux, la lecture qualitative des pentes (faible, moyenne, forte, etc.) sera privilégiée. Les cinq tronçons se caractérisent ainsi :

- A l'amont, T1 de 0,34 km de long est constitué d'un chenal à pente de 585 m/km (59,6 %) entre deux versants raides atteignant 70° de déclivité, favorisant un drainage externe très rapide à rapide. Le tronçon est caractérisé par une chute d'eau localisée au niveau de l'abrupt marquant le fond du cirque précédemment décrit. Elle coule en un mince filet d'eau en période de beau-temps. A son pied se forme un réservoir d'eau d'un rayon de 2 m et d'une profondeur avoisinant 1 m en basses eaux, favorisant l'infiltration et des sous-écoulements. En temps de pluies par contre, le réservoir est plein cela permet un écoulement superficiel mais intermittent de la rivière Havundrékuni (*photos 17&18*).

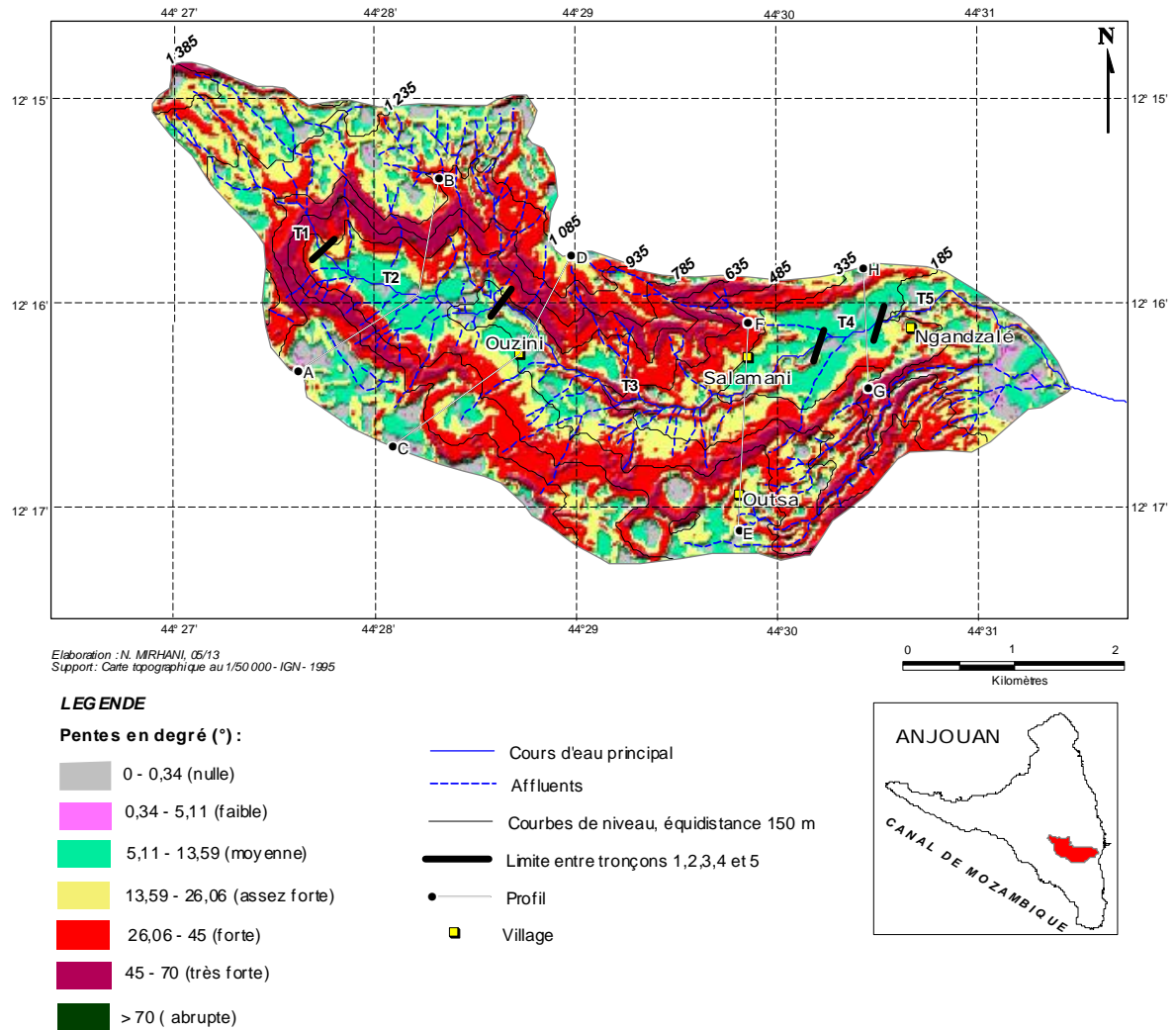


Figure 38- Classes des pentes du bassin et tronçons de la vallée Ouzini-Ajaho

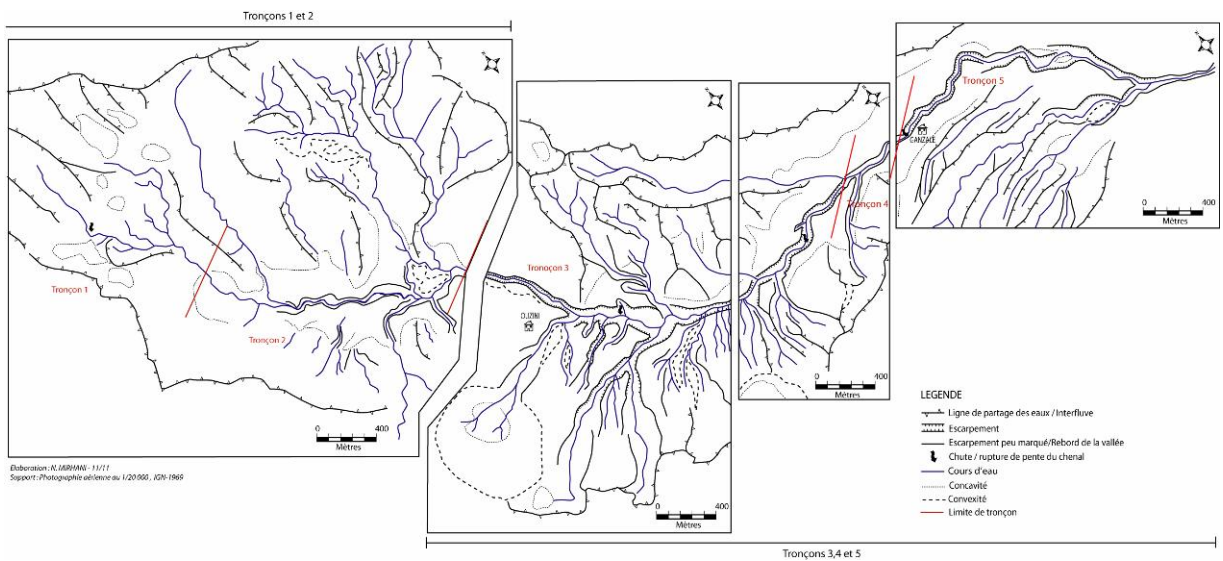


Figure 39- Morphologie et tronçons de la vallée Ouzini-Ajaho

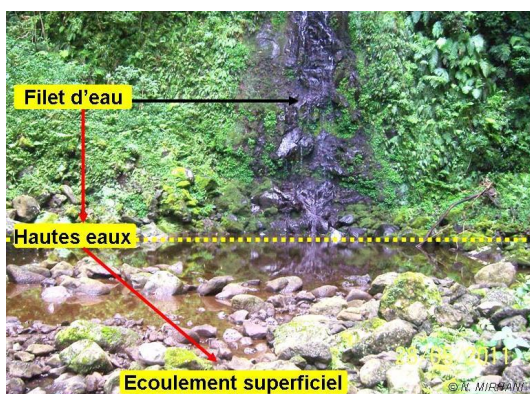


Photo 17- Tronçon 1 : l'amont de la rivière Havundrékuni en hautes eaux en mai 2011

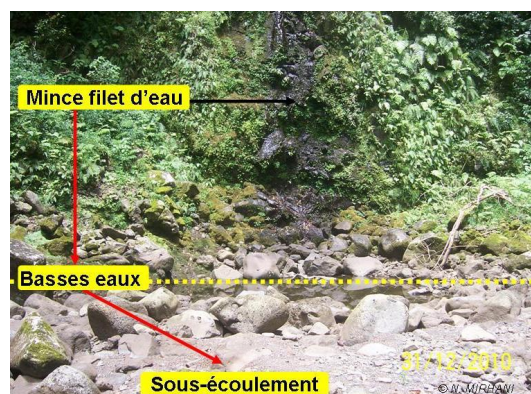


Photo 18- Tronçon 1 : l'amont de la rivière Havundrékuni en basses eaux en décembre 2010

- T2 de 2 km de long est traversé par le profil AB (*figure 40*). Le versant Sud-Ouest (A), à pente très forte à forte, plus court que le versant Nord-Nord-Est (B) avec un dénivelé de 381 m contre 464 m, est plutôt convexo-concave, sa base étant probablement empâtée par des dépôts issus de mouvements de masse, créant un replat en bas de versant (fond du cirque). Le versant Nord-Nord-Est est beaucoup plus rectiligne et domine directement le chenal de la rivière. L'ensemble forme une vallée assez large en berceau où le chenal présente un profil en long à faible pente de 72 m/km (7,2 %) caractérisé en partie par un style fluvial à méandres non encaissés et encombrés de roches, de graviers et de sable grossier. Sur ce tronçon favorisant l'infiltration des eaux, la rivière cesse généralement de couler au bout de 2 à 3 heures après les précipitations (*photos 19-20 & 21*).

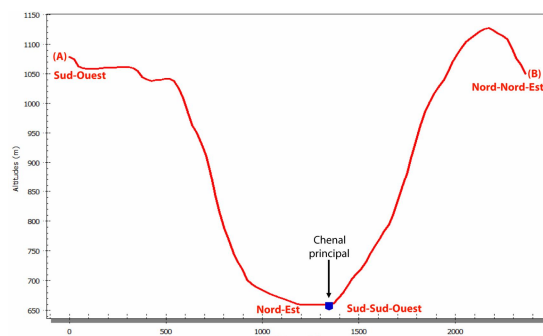


Figure 40- Profil de la vallée dans le tronçon T2



Photo 19- Tronçon 2 : le lit de la rivière à sec le 1^{er} mai 2011 avant les pluies



Photo 20- Tronçon 2 : écoulement intermittent le 2 mai 2011 après les pluies



Photo 21- Tronçon 2 : tarissement de la rivière avant le 12 mai 2011

- T3 de 3,7 km de long est traversé par le profil CD et EF (*figure 41*):

Pour le premier profil, en amont du tronçon, le cours d'eau est encaissé dans une vallée aux versants dissymétriques avec des dénivelés de 399 m (C) et 436 m (D). A partir du point C, le versant Sud-Ouest est caractérisé par un replat vers 850 m d'altitude séparant deux versants convexo-concaves à pentes fortes. Un deuxième replat vient interrompre l'aval de ce versant correspondant à l'emplacement du village d'Ouzini au voisinage de 650 m d'altitude. Le dénivelé entre ce replat et le chenal de la rivière est de 18 m avec une pente convexe assez forte. Le versant opposé (C) est par contre rectiligne avec des pentes très fortes à fortes surplombant directement le chenal. C'est dans cette section que la rivière a creusé de profondes gorges.

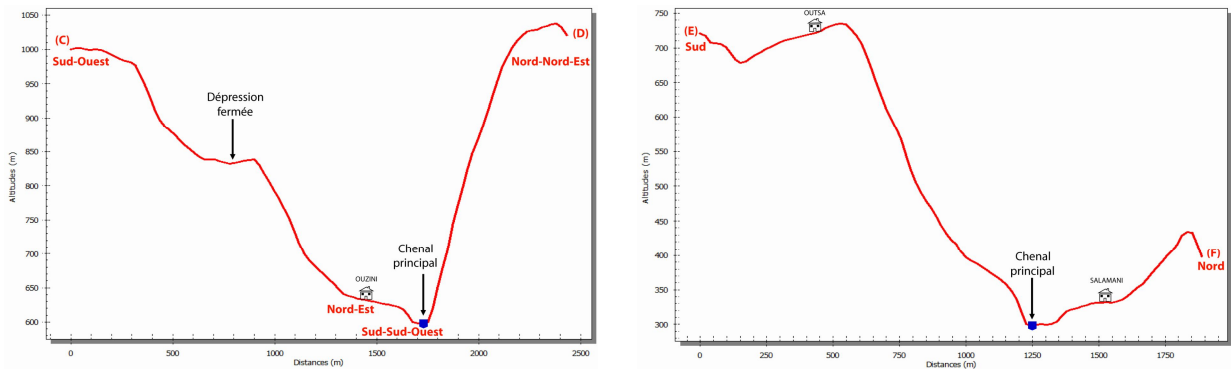


Figure 41- Profils de la vallée dans le tronçon T3

Le profil EF situé plus en aval, traverse les villages d'Outsa et Salamani. Comme le cas précédent, les versants de la vallée sont dissymétriques avec des dénivelés de 440 m (E) au Sud et 133 m (F) au Nord. Le premier (E) globalement rectiligne à pente très forte à forte est caractérisé par un léger replat dans sa partie aval qui surplombe le lit de la rivière. Le second versant (F) nettement plus court et à pente plus faible présente un replat où est installé le village de Salamani et dominant le chenal principal qui fait 97,3 m/km (9,7 %) de pente le long du tronçon. La rivière Havundrékuni reçoit à ce niveau l'affluent Singani ; ce qui contribue à la prolongation de sa durée d'écoulement. A partir de la confluence entre les deux cours d'eau, quelques poches d'eau perdurent dans le lit en dehors des périodes pluvieuses (*photos 22 & 23*).



Photo 22- Tronçon 3 : pied d'une chute d'eau de Havundrékuni en déficit en décembre 2010



Photo 23- Tronçon 3 : pied d'une chute d'eau de Havundrékuni en hautes eaux en mai 2011

- T4 d'une longueur de 0,63 km est coupé par le profil GH (*figure 42*). La vallée à versants symétriques convexo-concaves et dénivelés de 154 m au Sud (G) et 111 m au Nord (H), s'élargit et présente une forme en berceau. La pente du chenal principal dans le tronçon, peu encaissé, est de 73 m/km (7,3 %). Les écoulements y sont généralement permanents.

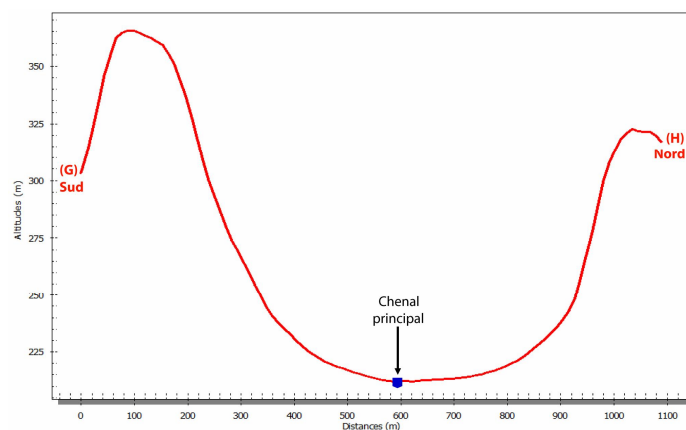


Figure 42- Profil de la vallée dans le tronçon T4

- T5 de 2,33 km de long, s'inscrit dans un vaste cône où la structure des roches et l'agencement des sédiments laissent penser à un paléo-delta. Le chenal principal à profil en long de 73,8 m / km (7,38 %), s'encaisse de plus de 2 m dans ces formations de remblaiement jusqu'à environ 100 m de l'embouchure. A 110 m de son embouchure, la rivière reçoit l'affluent Hamazia qui est saisonnier. Au débouché dans la mer, elle reste à sec après la saison pluvieuse. Cependant, le niveau des eaux n'est pas seulement fonction des précipitations reçues, il est aussi soumis aux variations de la marée (*photos 24 & 25*).



Photo 24- L'embouchure de la rivière Havundrékuni-Ajaho en février 2012



Photo 25- L'embouchure de la rivière Havundrékuni-Ajaho en mai 2012

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des tronçons T1, T2, T3, T4 et T5.

Tableau 9- Récapitulatif des tronçons de la vallée Ouzini-Ajaho

Caractéristiques	Tronçon 1	Tronçon 2	Tronçon 3	Tronçon 4	Tronçon 5
Encaissement du chenal principal	- très fort - fort	- moyen - nul	- très fort - fort	- moyen - nul	- fort - assez fort
Longueur du chenal (km)	0,34 (334 m)	1,92 (1922 m)	3,7 (3693m)	0,63 (630 m)	2,33 (2330 m)
Dénivelé (m)	935-736 =199	736-598= 138	598-238 = 360	238 - 192 =46	192-20 = 172
Pente du chenal (m/km)	585 (59,6 %)	72 (7,2%)	97,3 (9,7 %)	73 (7, 3 %)	73,8 (7,38 %)

III.2- Le bassin versant Lingoni-Pomoni : un géosystème du domaine du Sud-Ouest

III.2.1- La morphologie d'ensemble

D'une forme compacte selon l'indice de compacité de Gravélius qui est de 1,4, le bassin versant Lingoni-Pomoni dispose d'une longueur deux fois plus grande que sa largeur maximale : 7,5 km contre 3,6 km. Son périmètre est de 19 km pour une couverture de 15 km² de la superficie de l'île, soit à peine 3,5 % (*figure 43*). Il est inscrit dans les formations géologiques mises en place lors des trois phases volcaniques qu'a connues Anjouan. Constituée de laves à faciès basaltiques, la série ancienne, donc la plus altérée, en occupe 66,4 % contre 10 % pour la série récente et 6 % pour la série intermédiaire. Des formations pyroclastiques s'étendent sur 17,4% du bassin. Elles couvrent le fond du cratère où s'est installé le lac Dzilandzé à 900 m d'altitude. La carte géologique d'Anjouan précise la répartition de ces différentes formations volcaniques (*cf. figure 6*).

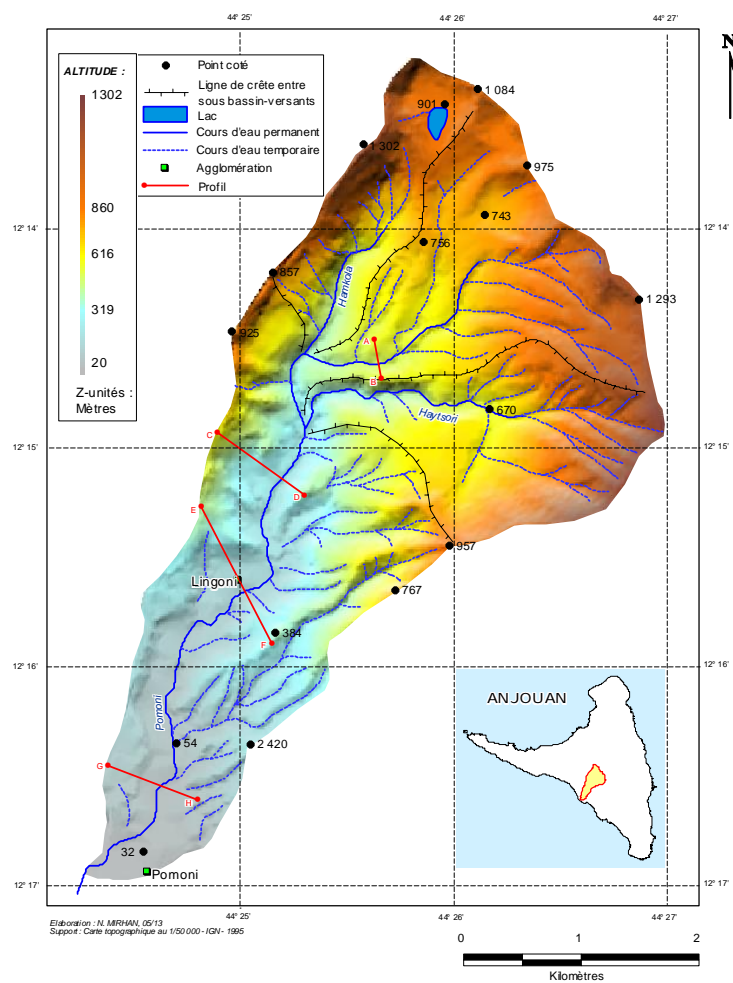


Figure 43- Morphologie du bassin versant Lingoni-Pomoni

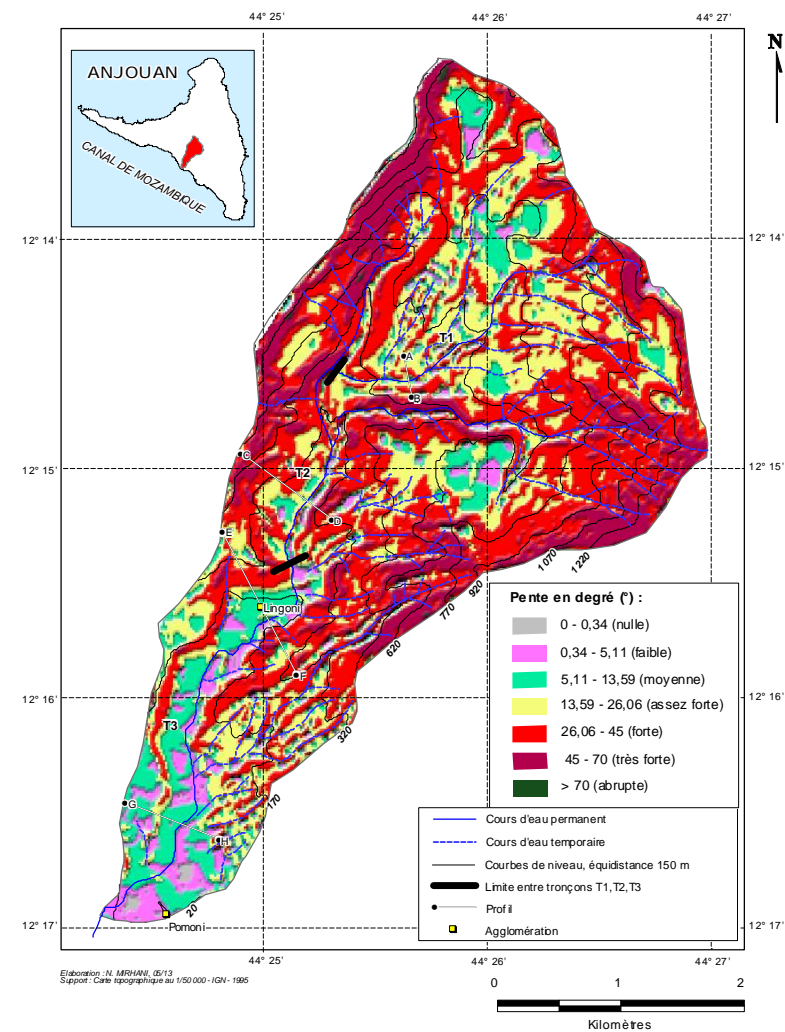
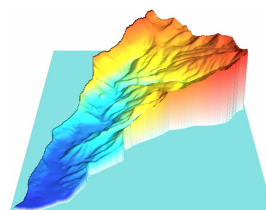


Figure 44- Classes de pentes du bassin et tronçons de la vallée Lingoni-Pomoni

67 % du bassin s'élève au dessus de 418 m qui est l'altitude moyenne de l'île. Le point culminant est atteint à 1302 m. En amont, le bassin versant est subdivisé en trois sous-bassins des rivières Hamkola et Haytsori qui se jettent dans le cours d'eau Pomoni, et qui s'inscrivent dans une surface à pente de 29,7 % (*figure 43*).

D'une manière générale, les pentes très fortes, fortes et assez fortes couvrent 82 % du bassin, dont 15 % dépassent 45°. Plus précisément, ce sont les versants à forte déclivité qui dominent avec 40% de surface couverte. Les abrupts ne représentent que 0,1 % des versants, soit 1 ha. Les pentes nulles ne s'étendent que sur 0,2 % plus particulièrement vers l'aval du bassin (*figures 44 & 45*).

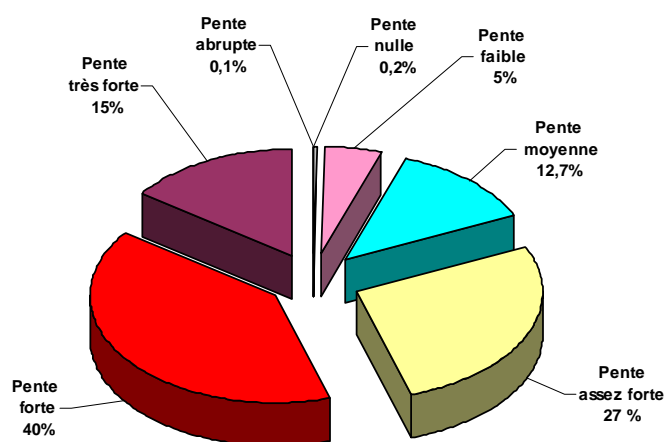


Figure 45- Superficie de classes de pentes dans le bassin versant Lingoni-Pomoni

Le caractère accidenté du bassin versant Lingoni-Pomoni favorise un drainage externe rapide à très rapide d'après la classification d'Emberger *et al.* [1983].

III.2.2- La morphométrie du réseau et des tronçons hydrographiques

Le réseau hydrographique du principal cours d'eau de Pomoni avec ses deux principaux affluents Hamkola de 1,3 km et Haytsori de 2,3 km de long prennent leur source entre 1400 et 1000 m d'altitude. La longueur du chenal principal est de 8 km avec une pente longitudinale de 90 m/km (9 %) (*figure 46*). Ce cours d'eau a les caractéristiques d'un fleuve dans la mesure où il reçoit deux rivières permanentes en son amont et se jette dans la mer. Mais vu sa faible longueur et la largeur du chenal qui n'atteint pas 30 m, nous le nommons « petit fleuve de Pomoni ». Son réseau est de type dendritique avec une longueur totale de 52,6 km dont 44,6 km pour les affluents. La densité du drainage estimée à 3,5 km/km² reste faible par rapport à celle de l'île (4,3 km/km²) et du domaine du Sud-Ouest (4,1 km/km²). Le temps de

concentration du bassin est évalué à 54 mn d'après la formule de Ventura et à 33 mn d'après celle de Kirplich (*cf. II.1.4 de chapitre II*).

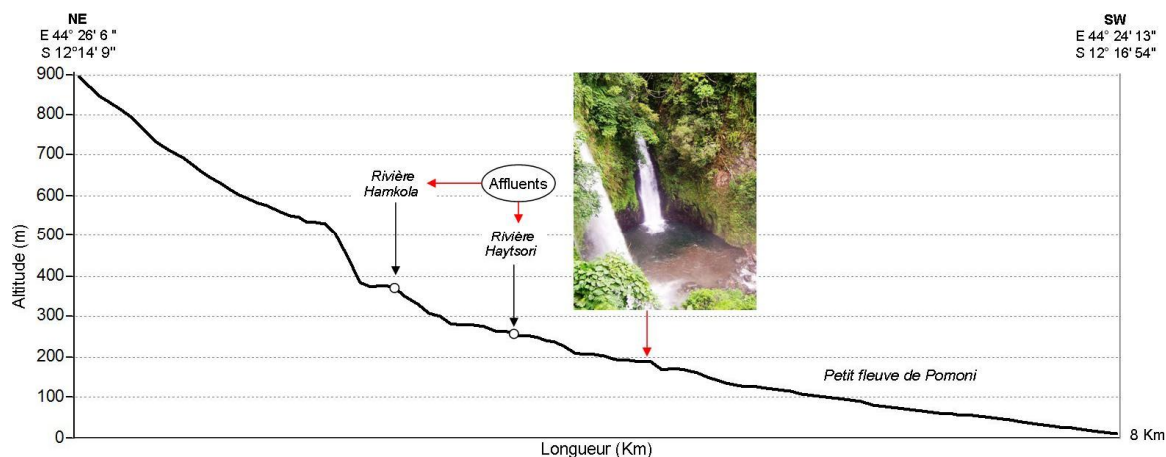


Figure 46- Chenal en long de petit fleuve de Pomoni selon un MNT de résolution 90 m

Le petit fleuve de Pomoni se caractérise par des écoulements permanents. Cependant, le débit varie en fonction des périodes pluviométriques de l'année. La photo 26 illustre une diminution de débit en juillet qui fait partie des mois les moins arrosés de l'île bien que les précipitations soient très fréquentes à Lingoni. Par contre, la photo 27 témoigne d'une augmentation du débit au même endroit en février qui est parmi les mois les plus arrosés d'Anjouan derrière janvier. Les analyses détaillées des statistiques climatiques et de la saisonnalité sont présentées au chapitre I (*cf. I.3*).

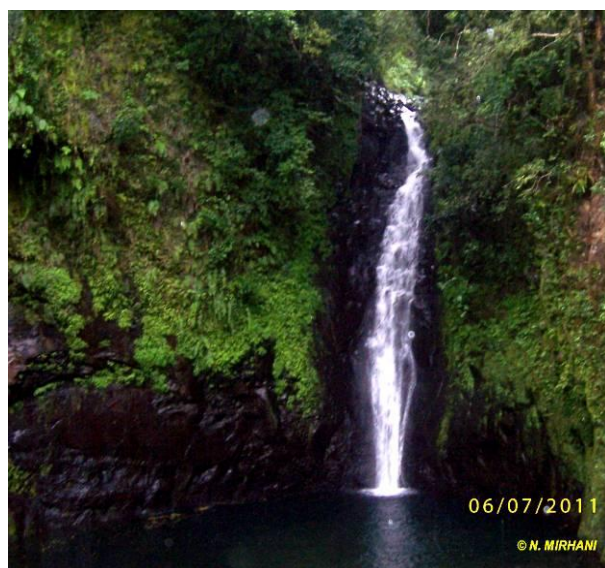


Photo 26- Diminution du débit de la chute de Lingoni en période moins pluvieuse de juillet

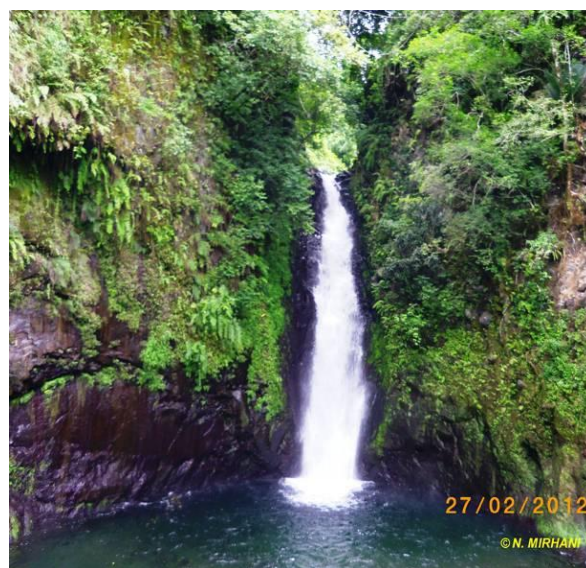


Photo 27- Augmentation du débit de la chute de Lingoni en période pluvieuse de février

Pour mieux caractériser le cours d'eau de Pomoni, nous avons distingué trois tronçons de l'amont à l'aval. Les principes d'interprétation sont identiques à ceux décrits précédemment pour le bassin versant Ouzini-Ajaho. Il s'agit d'une lecture qui combine les cartes de la morphologie et des pentes avec les coupes topographiques AB, CD, EF et GH dans les trois tronçons du petit fleuve de Pomoni :

- Le T1 est caractérisé par une pente longitudinale de 176,2 m/km (17,62%) sur 2 km de long. Il est coupé par le profil AB (*figure 47*) qui fait apparaître deux versants dissymétriques de la vallée avec un dénivelé de 63 m. Le versant Nord (A) à pente convexo-concave est marqué par une déclivité assez forte qui s'accroît vers l'aval avant de s'adoucir à la base passant de moyenne à faible. Le versant opposé (B) est rectiligne avec une pente forte qui s'affaiblit en bas de pente.

- Le chenal du T2 avec une pente de 9,69 % (96,93 m/km) sur 1,7 km de long, est marqué par la chute de Lingoni à partir de laquelle a été aménagée une centrale hydroélectrique. La rivière a creusé par endroit de profondes gorges. Le tronçon est traversé par le profil CD (*figure 48*) qui fait apparaître deux versants dissymétriques avec des dénivélés de 360 m pour le versant Ouest-Nord-Ouest (C) et 143 m pour le versant Est-Sud-Est (D). Le premier beaucoup plus long que le second est marqué par des pentes très fortes à fortes quasi rectilignes, interrompues par un replat vers 320 m d'altitude. Le versant opposé (D) beaucoup plus court est également plus raide et rectiligne.

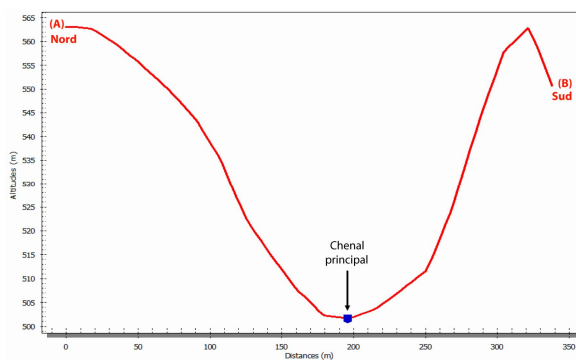


Figure 47- Profil de la vallée dans le tronçon T1

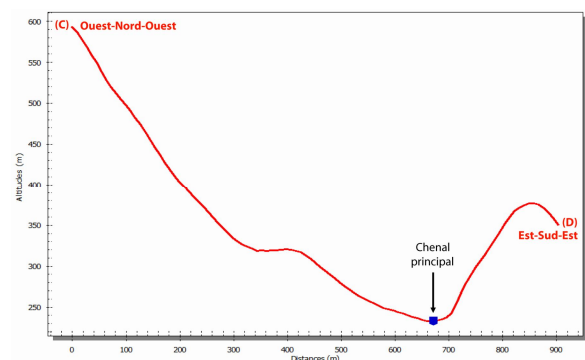


Figure 48- Profil de la vallée dans le tronçon T2

- le T3 s'étend sur 4 km de long avec un chenal de 4,67 % de déclivité plus faible que celle de T1 et T2. Le tronçon est traversé par les profils EF et GH (*figure 49*) de morphologies différentes :

- Le EF présente deux versants dissymétriques avec des dénivélés respectifs de 274 m et 215 m. A l'amont, le versant Nord-Ouest (E) est dominé de pentes rectilignes interrompues par des replats ; le village de Lingoni se localisant sur plus en aval. La déclivité des pentes

s'accroît de l'amont vers l'aval du versant. Le versant Sud-Est (F), beaucoup plus court, présente la même accentuation de pente entre l'amont et l'aval de part et d'autre d'un replat vers 250 m d'altitude.

- La vallée au niveau de la coupe GH a la forme d'un entonnoir avec deux versants raides en amont et dont la déclivité se réduit à mi-pente vers l'aval. Le chenal est encaissé à 14 m de profondeur dans le fond de la vallée.

Les caractéristiques des tronçons T1, T2 et T3 sont récapitulées au tableau suivant.

Tableau 10- Récapitulatif des caractéristiques des tronçons de la vallée du petit fleuve Pomoni

Caractéristiques	Tronçon 1	Tronçon 2	Tronçon 3
Pentes des versants	assez forte - forte	assez forte - très forte	faible - moyenne
Longueur du chenal (km)	2 (1975 m)	1,7 (1764 m)	4 (3810 m)
Dénivelé du chenal (m)	717-369= 348	369-198 = 171	198-20 = 178
Pente du chenal (m/km)	176,2 (17,62%)	96,93 (9,69%)	46,7 (4,67%)

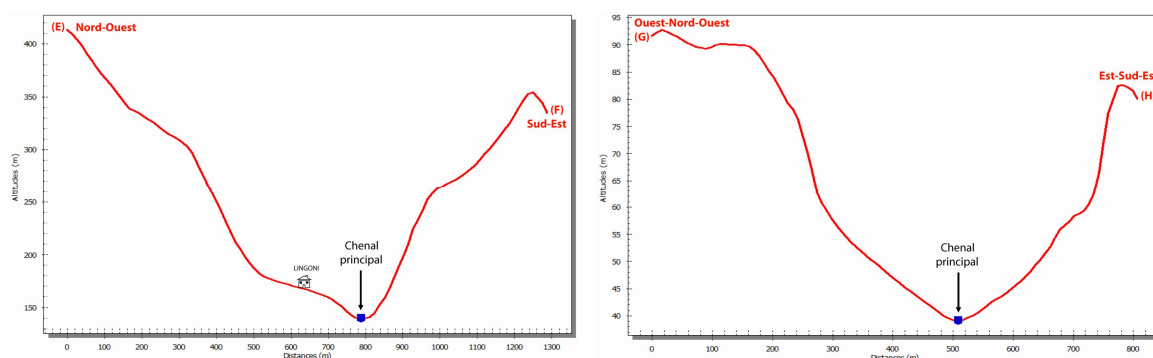


Figure 49- Profils de la vallée dans le tronçon T3

III.3- Les expositions et les mécanismes climatiques

Rappelons que quatre principaux vents *Kashkazi* (mousson), *Kusi* du Sud, *Mnyombeni* du Nord-Est et *Matulay* (alizé) soufflent à Anjouan. A l'échelle des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni, nous ne nous intéressons qu'à ceux les plus influents sur le végétal et le climat local. Ils défeuillent et ravagent les plantes (bananiers, girofliers, etc.). Par ailleurs, l'effet d'exposition, se traduit par des facettes topographiques qui sont arrosées pendant que d'autres ne le sont pas à égale heure dans le même bassin. Comprendre les mécanismes de circulation des masses d'airs les plus importantes est donc nécessaire pour définir une typologie d'occupation des sols adéquate lors des aménagements.

En se référant aux directions des principaux types de vents rappelés plus haut, à la carte topographique d'Anjouan, aux observations et aux informations recueillies sur le terrain, nous avons identifié les flux aériens les plus influents dans les deux bassins versants étudiés.

Chaque carte des expositions a donc été établie dans le souci de prendre en compte plus précisément les versants les plus exposés à ces flux (légendés en rouge). Le positionnement du bassin versant dans l'île est l'élément majeur qui explique les vents influents en raison des effets d'abri importants liés à la structure d'île montagneuse d'Anjouan. La lecture de la légende se fait suivant le sens des aiguilles d'une montre ; c'est-à-dire de 0°N à 360°N (*figures 50 & 51*).

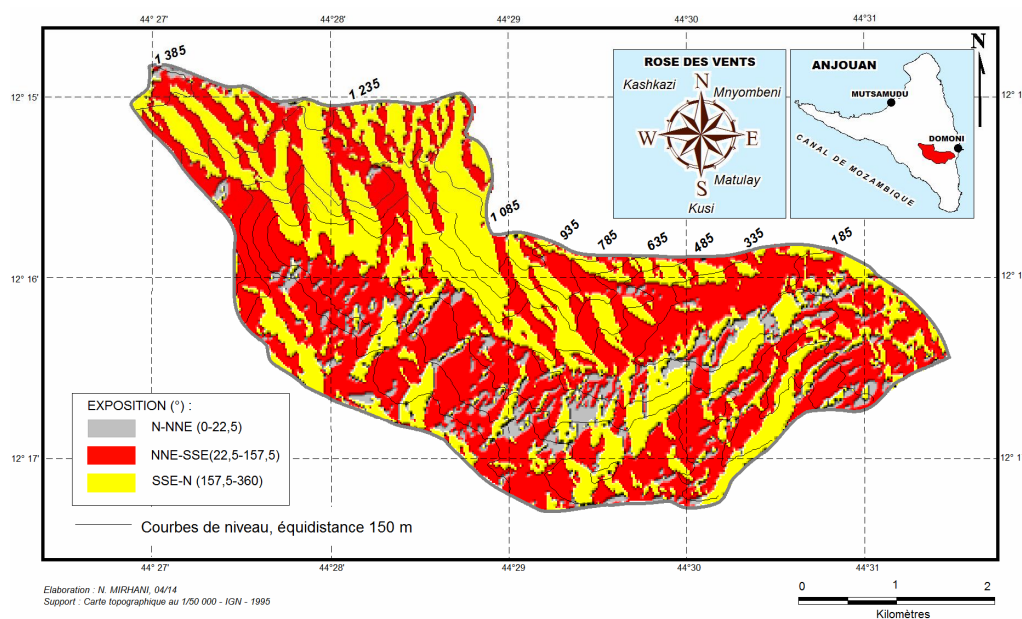


Figure 50-Exposition des versants du bassin versant Ouzini-Ajaho

Dans le bassin versant Ouzini-Ajaho, les flux *Mnyombeni* du NNE et *Matulay* du SE paraissent les plus importants. On estime grossièrement que les versants les plus concernés sont ceux d'exposition NNE-SSE (22,5°-157,5°) (*figure 50*). Ils couvrent 55 % de la superficie du bassin. La présence des barrières orographiques au NW et au S de ce bassin laisse voir que celui-ci est sous les vents *Kashkazi* et *Kusi*. Le bassin de Lingoni-Pomoni reçoit plutôt de plein fouet le *kusi*. Ce dernier a des impacts plus particulièrement sur les versants d'expositions SSE-SSO (157,5°-202,5°) qui ne s'étendent que sur 13 % du bassin (*figure 51*). L'influence de *Kusi* est la plus déterminante sur ce bassin par son intensité et les précipitations qu'il produit.

En comparaison, le bassin versant Ouzini-Ajaho est plus venté que celui de Lingoni-Pomoni. Une telle situation est favorisée par la morphologie de son relief en cirque (*cf. III.1.1*) et l'exposition par rapport aux flux dominants.

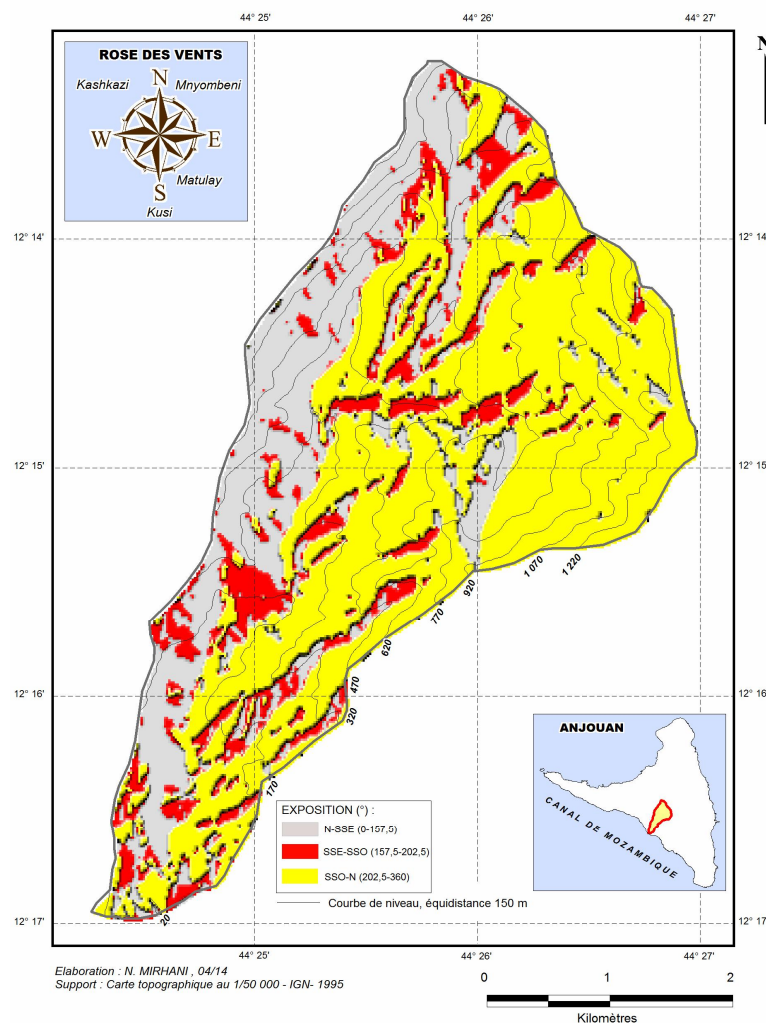


Figure 51- Exposition des versants du bassin versant Lingoni-Pomoni

Derrière les ravages qu'ils causent sur le végétal, voire les bâtis, les vents apportent des précipitations. Les bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni font partie de ceux les plus arrosés d'Anjouan. Le premier est traversé par les isohyètes annuelles de 2500 mm à 400 m et de 2000 mm à 220 m d'altitude environ. On en déduit un gradient pluviométrique de 278 mm/100 m d'altitude dépassant largement de 158 mm celui estimé par Brouwers [1973] à l'échelle de l'île (120 mm/100 m). Vers l'aval, le bassin est donc moins arrosé. Le second est par contre couvert de l'amont jusqu'à la côte par l'isohyète de 2500 mm. De fait, le bassin de Lingoni-Pomoni enregistre plus de précipitations en aval que celui d'Ouzini-Ajaho bien que ce dernier soit le plus venté. Etant connectés par une partie d'une ligne de crête assurant la fonction d'une barrière orographique en altitude, les deux bassins versants enregistrent probablement en amont des moyennes pluviométriques annuelles plus ou moins similaires. La part importante des précipitations est d'origine orographique. Dans le bassin versant Ouzini-Ajaho par exemple, dès que les flux aériens abordent le relief, celui-ci modifie leur trajectoire

principale : une partie bute contre lui et une autre est canalisée dans la dépression ou le cirque d'Ouzini pour subir une ascendance lorsqu'ils entrent en contact avec les versants exposés. Des nuages se forment par la suite, couvrent la forêt et génèrent enfin des précipitations. Les photos 28 et 29 montrent ces mécanismes climatiques à partir des exemples pris dans le bassin versant Ouzini-Ajaho.

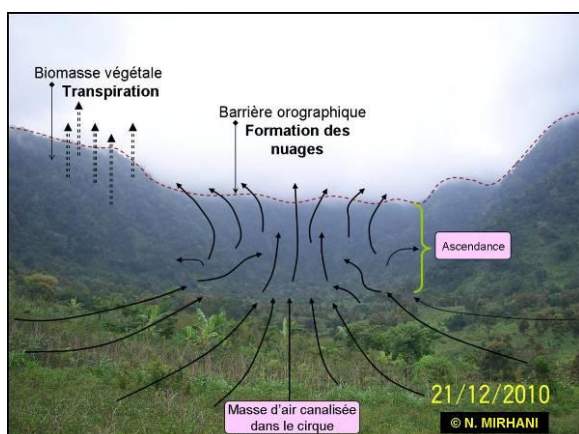


Photo 28- Circulation des masses d'air en amont du bassin versant Ouzini-Ajaho



Photo 29- Couverture nuageuse sur la forêt en amont du bassin versant Ouzini-Ajaho

III.4- La typologie d'occupation des sols : du bassin versant à l'espèce

Une approche par échelles spatiales emboîtées est adoptée dans cette analyse typologique d'occupation des sols : du bassin versant, on zoome sur le terroir et du terroir, on zoome sur le géotope de l'espèce floristique. D'abord, nous avons cartographié les grands types d'occupation des sols à l'échelle du bassin versant (« territoire d'exploitation ») en identifiant la mosaïque forêt - culture sous-forêt - agro-forêt, les zones de culture, les sols dénudés, les eaux de surface et les habitations. Certains de ces thèmes ont été par la suite discriminés en sous-thèmes (forêt, agro-forêt, etc.) sur le site d'Ouzini-Ajaho à partir d'une image SPOT 5 (juillet 2007) à 2,5 m de résolution spatiale que nous qualifions de « terroir d'exploitation ». Nous avons utilisé pour cela une approche spatiale multi-échelle à partir de bloc-diagrammes et un transect permettant de visualiser le terrain et distinguer les différentes strates végétales : arborée et herbeuse. Enfin, des relevés écologiques en complément ont permis de caractériser certains géotopes et identifier les espèces caractéristiques des géosystèmes étudiés.

III.4.1- Le niveau « territoire d'exploitation » : le bassin versant

Couvrant 34 km² (10,5 % de la superficie d'Anjouan), les bassins versants Ouzini-Ajaho et Pomoni-Lingoni sont caractérisés par cinq grands types d'occupation des sols (figures 52 & 53) :

- la mosaïque forêt (dominante) - culture sous-forêt et/ou agro-forêt est localisée en amont des deux bassins et occupe 37,7 % de leur superficie ;
- la zone de cultures concentre les cultures vivrières, les cultures d'exportation, les maraichages, les arbres fruitiers et les pâturages ainsi que les jachères. C'est le type de couverture du sol dominant, il s'étend sur 52,2 % des bassins versants ;
- les sols dénudés représentent 4 % de superficie et sont localisés vers l'aval des deux bassins ;
- des lacs occupent une très faible portion de 0,1 % des bassins d'Ouzini-Ajaho et de Lingoni-Pomoni ;
- les zones d'habitations occupent 6 % de la superficie des bassins y compris les terrains de sports.

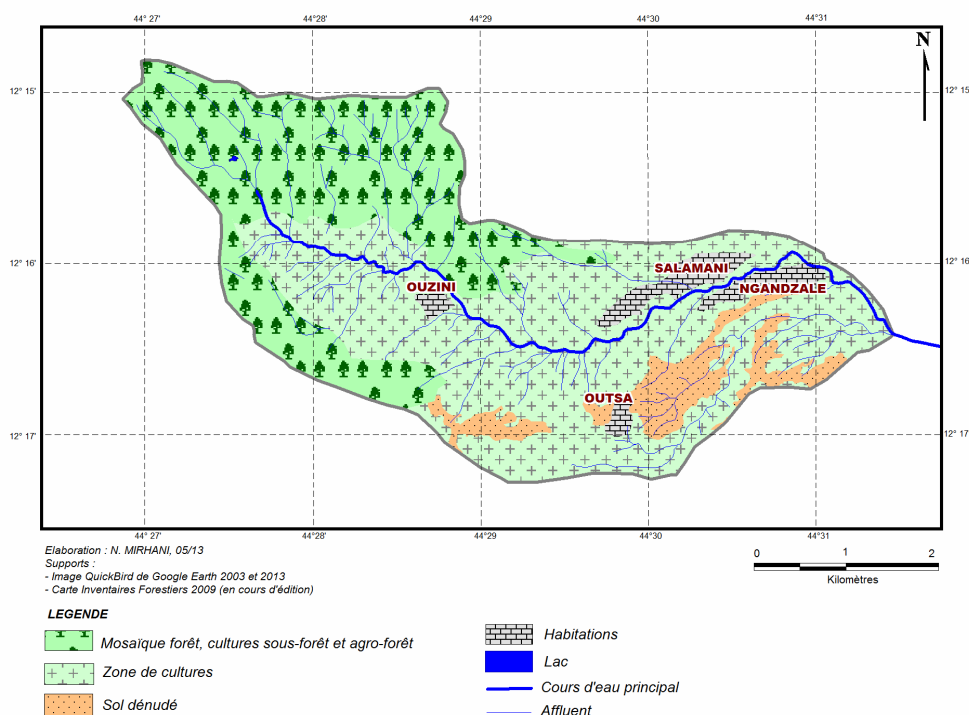


Figure 52- Principaux types d'occupation du bassin versant Ouzini-Ajaho

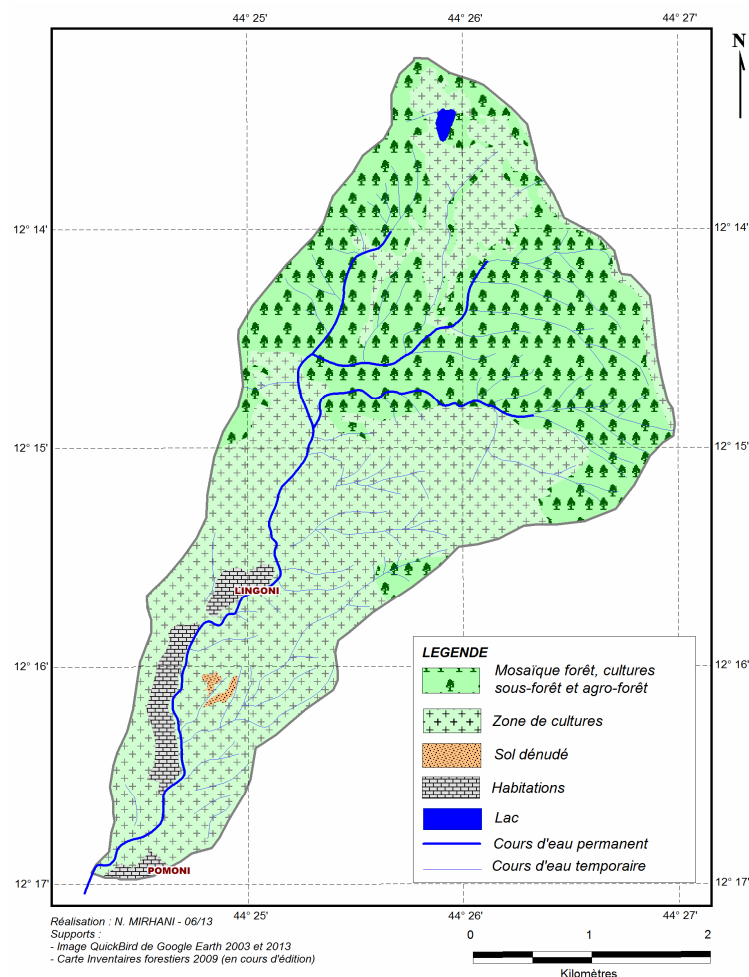


Figure 53- Principaux types d'occupation du bassin versant Lingoni-Pomoni

Si les deux bassins présentent des similarités de typologie d'occupation du sol, il n'en est pas de même pour leur extension dans l'espace (*figure 54*). En les considérant séparément, on remarque que celui de Lingoni-Pomoni dispose de plus de mosaïque forêt - culture sous-forêt et/ou agro-forêt et de culture que celui d'Ouzini-Ajaho. Par contre, le bassin d'Ouzini-Ajaho enregistre la superficie de sols nus (jachère ou terre dégradée) et d'habitations la plus importante, avec 14,1% contre 4,4 % à Lingoni-Pomoni. L'étendue du lac Dzilandzé (0,2 %) est dix fois supérieure à celle de Dziadengué (0,02 %). En commun, la figure (*figure 54*) illustre que les cultures représentent le principal type d'occupation des sols avant la mosaïque forêt - culture sous-forêt et/ou agro-forêt dans les deux bassins.

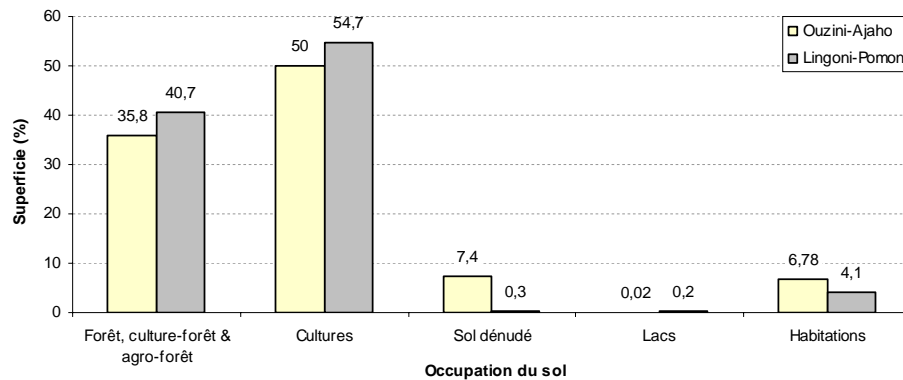


Figure 54- Typologie d'occupation des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni

En définitive, l'occupation du sol est globalement similaire sur les deux bassins versants. La différence se joue sur les zones de sols nus et les surfaces urbanisées, donc effectivement on peut s'attendre à avoir un ruissellement de surface plus marqué sur le bassin versant Ouzini-Ajaho et des processus d'érosion des sols plus importants.

III.4.2- Le niveau « terroir d'exploitation »

Le niveau « terroir d'exploitation » est un zoom sur une portion de bassin versant Ouzini-Ajaho pour obtenir des informations complémentaires après avoir décrit des éléments plus globaux avec les approches précédentes. Les traitements de l'image Spot 5 de 2007 sur un échantillon de 5,6 km² du bassin versant Ouzini-Ajaho font ressortir une occupation du sol plus détaillée alternant des forêts denses, des agro-forêts et/ou cultures sous-forêt, des zones buissonnantes avec des zones de pâturage et des cultures ainsi que des habitations (*figure 55*). Nous avons distingué notamment à ce niveau les zones arboricoles à giroflier, ylang-ylang, cocotiers et manguiers des autres zones cultivées.

Les traitements de l'image SPOT 5 de 2007 sur un échantillon représentatif du bassin versant, avec l'appui de la carte topographique de l'IGN de 1995, et validés sur le terrain, font ressortir divers types d'occupation du sol [Mirhani *et al.*, 2014] :

- **Les villages** d'Outsa à 700 m, Ouzini à 635 m, Salamani à 320 m et Ganzalé à 200 m d'altitude et Bweladungu situé à l'embouchure mais hors du bassin. Les profils topographiques (*cf. figure 8*) ont montré que ces zones bâties se localisent sur des terrains faiblement pentus mais d'altitude et d'unités topographiques différentes. Le village d'Ouzini pour illustration, se trouve au pied des versants (*figure 56*) alors que celui d'Outsa sur une colline. A travers la même figure, on remarque que les habitations sont groupées et entourées de cultures ; ce qui est le cas pour les trois autres localités du bassin versant.

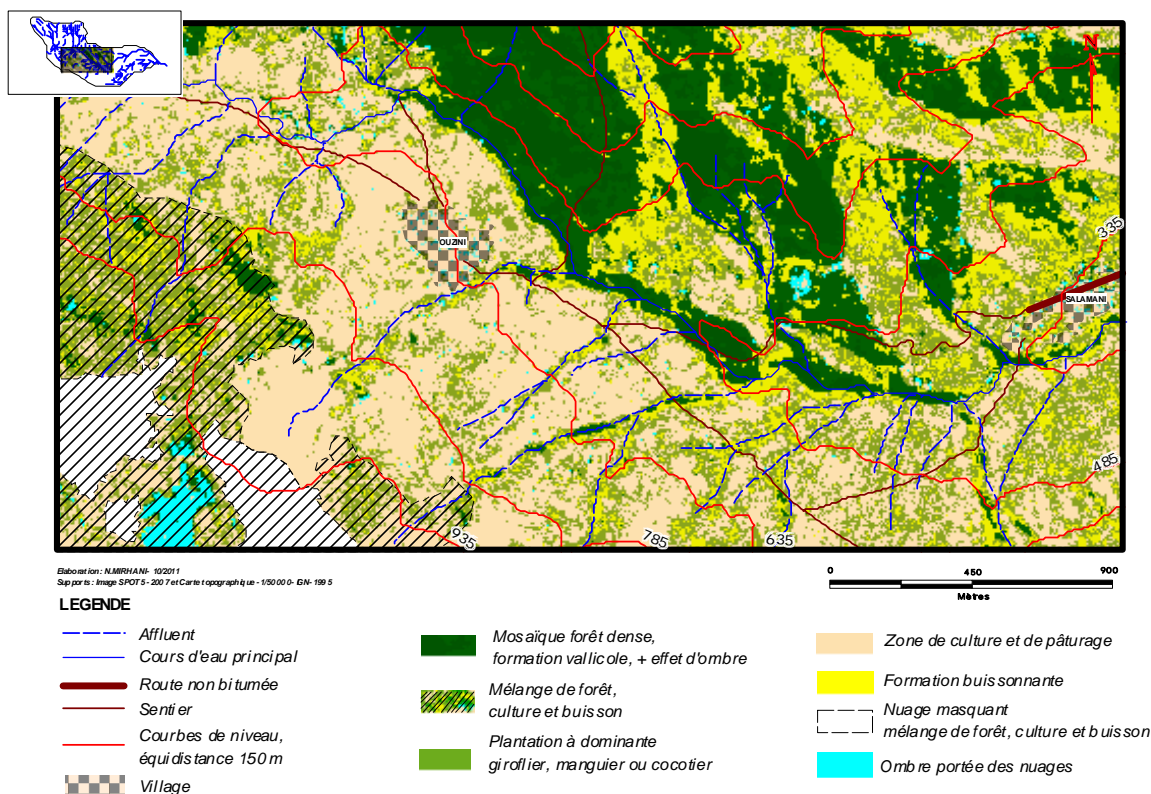


Figure 55- Echantillon d'occupation du sol du bassin versant Ouzini-Ajaho

- **Les zones cultivées** que nous évoquons sont celles occupées par les cultures vivrières et de rente avec de faibles densités ligneuses. Elles se répartissent sur l'ensemble des unités topographiques du bassin : collines, versants au-dessous de 800 m d'altitude, replat, fond plat du cirque et terrasses alluvionnaires d'Ouzini. Le bananier, le manioc et le taro sont parmi les principales cultures vivrières et/ou traditionnelles à Ouzini. Le bananier est omniprésent sur les versants de la vallée et les replats mais absent sur les collines sans strate arborée vu sa sensibilité aux vents (*figures 56-57 & 58*). Lorsque l'espèce n'est pas associée à d'autres cultures comme le taro, le sol reste couvert d'une strate herbacée qui se densifie si elle n'est pas soumise à un pâturage intensif. Quant à la culture de manioc, son taux de recouvrement du sol passe de 12 % un mois après la plantation pour atteindre 85 % en cinq mois [Roose, cité par Neboit, 2010]. Au début de la repousse, quelques signes d'érosions du sol peuvent être constatés après des averses sur les terrains en pente. Les autres types de cultures sont la patate-douce, l'ambrevade, le riz pluvial, etc. Les maraîchages de tomate, de piment, de pomme de terre, d'oignon, etc. sont pratiqués sur les parcelles proches des bâtis puisqu'ils exigent des contrôles et des entretiens fréquents. Le recours aux pesticides et autres produits chimiques est devenu incontournable chez les maraîchers de cette partie amont du bassin

versant. Les impacts de ces produits sur les eaux de surface et d'infiltration ne sont pas encore connus.

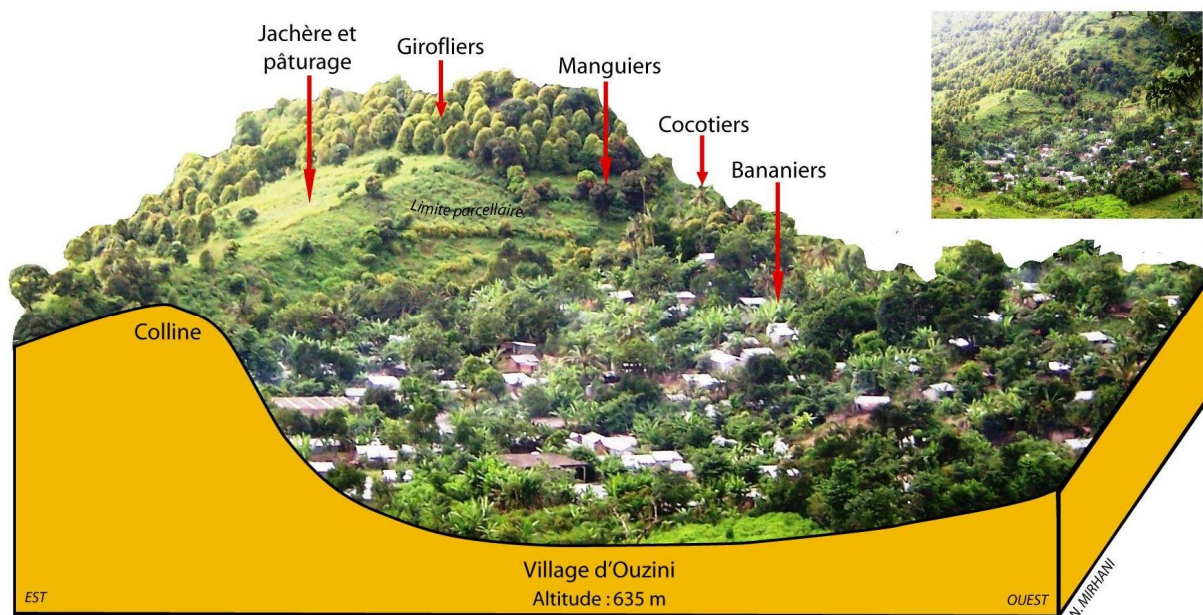


Figure 56- Le village d'Ouzini et ses terrains agricoles

- **Les formations buissonnantes et herbeuses** recolonisent certains versants abrupts de la vallée mais surtout des parcelles abandonnées après exploitation agricole. Ces terrains en jachère s'observent sur les collines, les replats, les versants et les terrasses alluvionnaires comme le montrent les figures 56 et 57. Les formations buissonnantes constituées de *Tithonia diversifolia* et *Lantana camara* disposent d'une très bonne capacité de recouvrement du sol atteignant largement 100 %. Concernant les formations herbeuses qui feront l'objet d'une étude au paragraphe suivant, elles sont constituées de diverses espèces ou dominées d'*Axonopus compressus*. Leur présence dans un terroir ne laisse apparaître aucun signe d'érosion. En effet, lorsque le couvert végétal est continu, l'érosion et le ruissellement restent très faibles malgré l'agressivité des pluies et l'inclinaison des pentes [Roose et Lelong, 1976].

- **Les plantations** de girofliers, d'ylang-ylang et d'arbres fruitiers, plus particulièrement les cocotiers et les manguiers, se localisent au-dessous de 800 m d'altitude. Les températures constituent un facteur limitant leur production. Ces plantes ligneuses disposent cependant d'une amplitude écologique qui s'étend jusqu'à l'exutoire du bassin ou à l'écotone terre-mer. Sauf le giroflier et l'ylang-ylang, elles s'associent avec les cultures vivrières telles que le manioc, le taro, etc. Le plus souvent, les deux premières espèces constituent un peuplement ; la figure 56 illustre le cas du giroflier. Sur les terroirs où leur densité est importante, on ne constate pas de griffes d'érosions. On estime que ces plantations protègent bien le sol d'autant

plus qu'il s'agit de cultures pérennes. Leur rôle sur le fonctionnement hydrologique sera analysé ultérieurement.

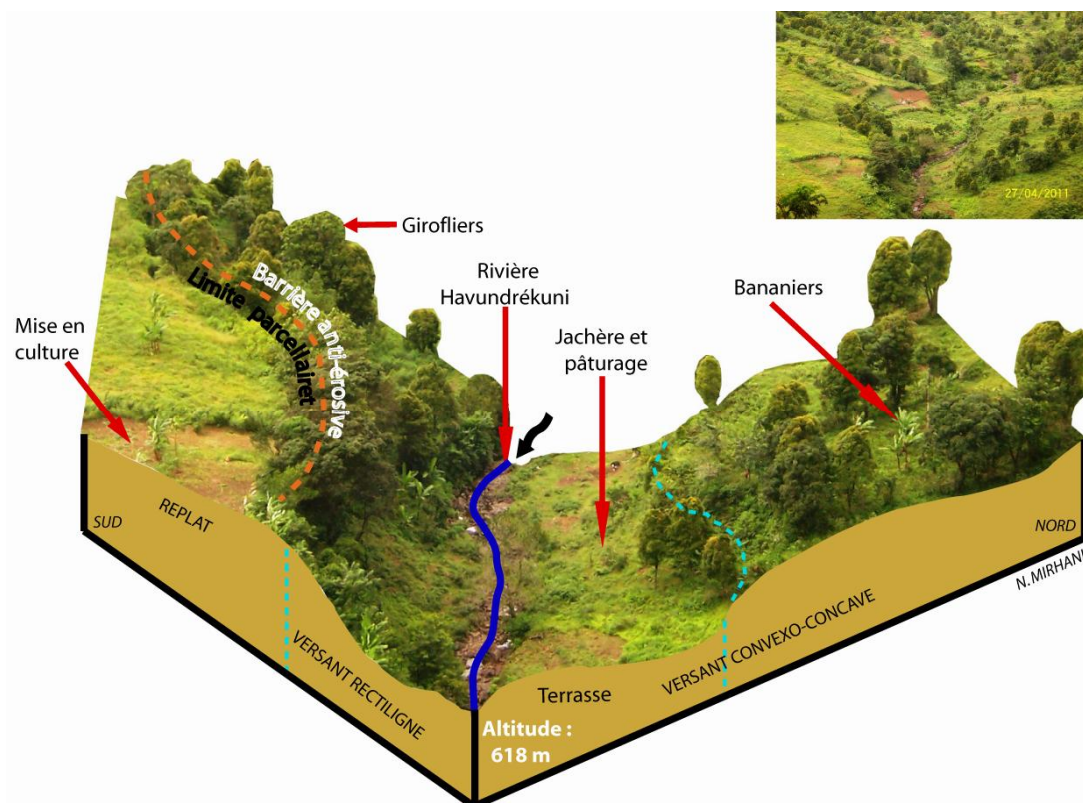


Figure 57- Des cultures et des jachères dans une vallée à Ouzini

- **Les agro-forêts** s'étendent au-dessus de 800 m d'altitude. Elles sont constituées de mélanges d'essences forestières dont *Shefflera myrifolia*, *Phyllanthus pervilleanus*, *Tambourissa kirkii*, etc. et de cultures vivrières, en particulier les bananiers, les taros et les orangers. A ce type d'occupation du sol, on ajoute les cultures sous-forêts qui ne sont pas forcément des agro-forêts, car elles se pratiquent aussi dans des clairières.

- **La forêt dense humide** est constituée de diverses essences (*Anthocleista grandiflora*, *Weinmannia comorensis*, etc.) associant celles observées dans les agro-forêts. Elle s'étend généralement au-delà de 850 m d'altitude mais est aussi conservée au voisinage de 700 m d'altitude sur les versants de pentes raides. Bien que l'intervention humaine y soit réduite, des mudflows et/ou des glissements de terrain ont laissé des cicatrices que la couverture forestière n'a pas encore effacées (figure 58). A tout moment, des précipitations intenses et de longue durée peuvent survenir, provoquer la saturation du sol et déclencher à nouveau un mouvement de masse.

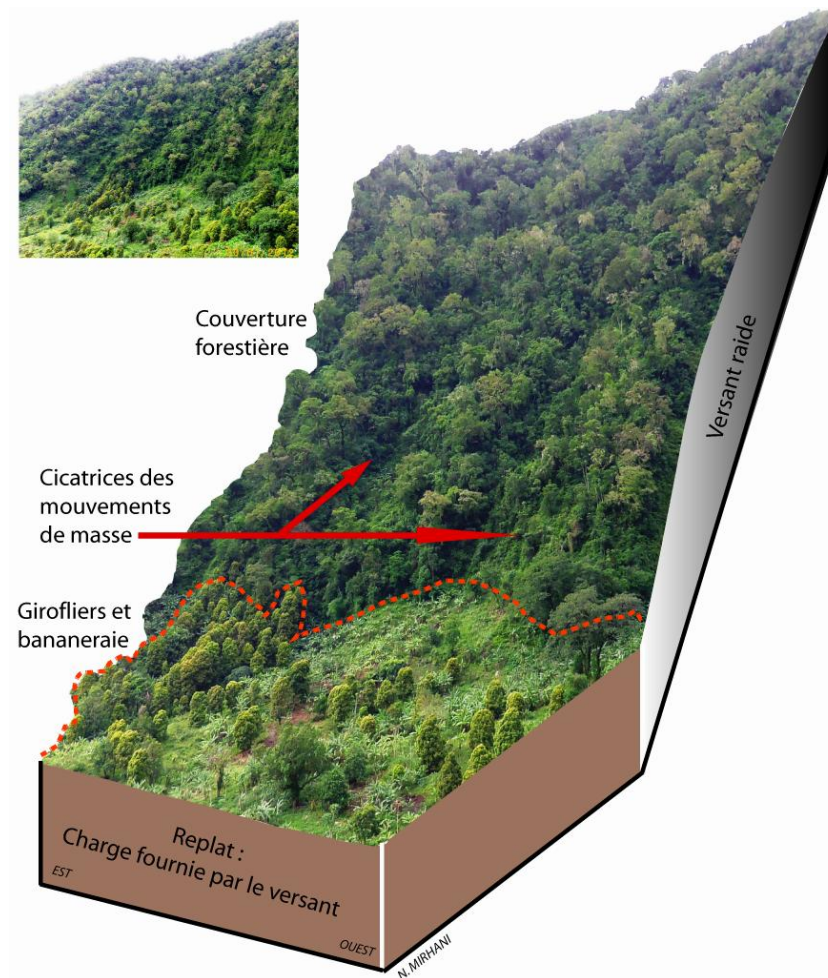


Figure 58- Un versant raide sous couvert forestier et un replat mis en culture à Ouzini

D'autres types d'occupation de sol sont les aménagements ponctuels tels que les bassins de rétention d'eau, les ponts de passage, les digues de protection, les chemins, les points de distillation d'ylang-ylang, etc.

L'organisation de l'occupation du sol et des aménagements des terroirs paysans peuvent être synthétisés par un profil récapitulatif représentatif d'un maximum d'unités paysagères décrites plus haut (*figure 59*). Ce profil datant de juin 2011 se localise en amont du bassin versant sur une portion de la rive gauche du tronçon T2 de la rivière Havundrékuni (*cf. figures 38-39*). De l'amont vers le fond de la vallée, on distingue : les agro-forêts et/ou les cultures sous-forêt, la forêt ombrophile sur les hauts versants les plus raides, les agro-forêts constituant une sorte de zone de transition progressive entre la forêt et les cultures, les cultures avec peu d'arbres ou sans association arborée qui descendent jusqu'au fond de la vallée. Sur les berges du cours d'eau peuvent s'observer quelques rares essences forestières éparses.

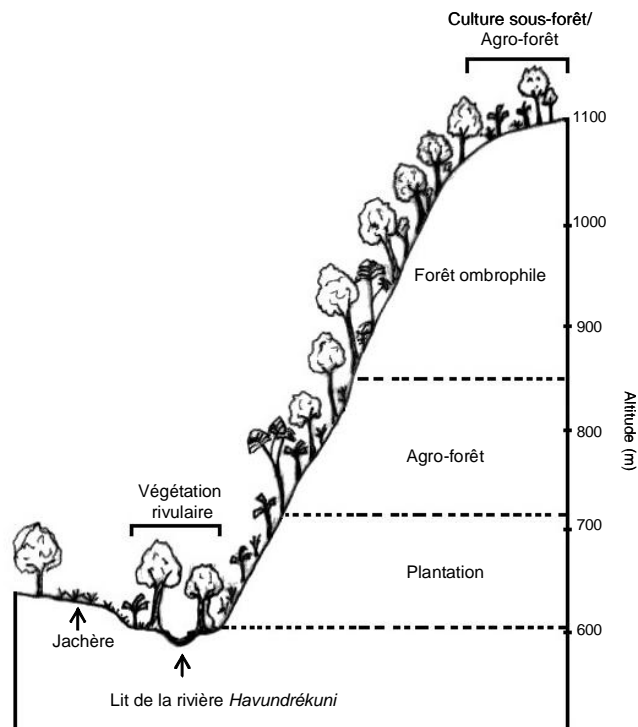


Figure 59- Etagement des unités paysagères

III.4.3- De la mésologie à l'espèce : une approche par l'écologie végétale

Le géotope est le niveau d'analyse le plus fin car il est inclus dans le terroir qui est aussi une unité du territoire (le bassin versant). Réduite aux m², cette échelle a fourni plus de détails sur les conditions mésologiques (micro-topographie, granulométrie, pH et température du sol) et les espèces caractéristiques des géotopes étudiés. Nous allons présenter les exemples des formations végétales de la jachère et ligneuses pour Ouzini et herbeuses pour Pomoni.

Exemple d'une formation végétale de la jachère à Ouzini (photo 30)

Les relevés écologiques ont été effectués en période chaude et pluvieuse (janvier 2011) sur une parcelle de 15 m x 5 m. Le site se localise aux coordonnées 12°16'03.3''S - 44°28'26.7''E à 619 m d'altitude sur la rive gauche du cours d'eau Havundrékuni-Ajaho appartenant au tronçon 2. La topographie est plane. Le sol est pauvre en nécromasse, sauf quelques feuilles mortes de girofliers qui entourent la parcelle d'étude. A quelques centimètres de profondeur, les racines des girofliers sont détectables. Etant exposé au soleil, le substrat enregistre une température de 26,2°C vers 14 h après une averse. Le géotope est de type sablo-limoneux de pH faiblement acide (6,3) à jachère herbeuse de quatre ans (*tableau 11*).

Tableau 11- Caractéristiques pédologiques d'un sol en jachère

Horizons (cm)	Code et couleur du sol sur terrain		pH dans l'eau et observations		Granulométrie (%)		
					Arg	Limon	Sable
H1 : 0-20	7,5 R2,5/2	very dark brown	6,25	Faiblement acide	10	21	69
H2 : 20-44	10 YR3/2	very dark grayish brown	6,38	Faiblement acide	8	21	71



Flore



Sol

Photo 30- Site de relevés écologiques sur la rive gauche de la rivière Havundrékuni
(Prise de vue quatre mois après les relevés)

Sur 11 espèces appartenant à 7 familles relevées, 30 % étaient en fructification ou en floraison et le reste à l'état végétatif. Aucune plante herbeuse n'avait atteint 60 cm de hauteur, une valeur largement dépassée après les quatre mois qui ont suivi les inventaires (photo 30). En parallèle, le taux de recouvrement du sol a augmenté. La famille des ACTERACEAE est caractérisée par l'Indice de Diversité Relative (IDR) le plus élevé, avec 36,4 %. Parmi les espèces caractéristiques, on rencontre *Bidens pilosa* (Chitsatsy), *Lagera alata* (Mwanamariamio), *Ageratum conizoides* (Davou voundrou) et *Galinsoga sp.* Viennent les CYPERACEAE dont l'IDR est de 18,2 % avec comme espèces caractéristiques *Scleria racemosa* (Mwanagnahé wangelé) et « Sandzé ». Les MALVACEAE, les AMARANTACEAE, les EUPHORBIACEAE, les FABACEAE et les VERBENACEAE représentent chacun 9,1% (figure 60). Du point de vue abondance spécifique, *Woulimé wagnombé* (VERBENACEAE), *Scleria racemosa* (Mwanagnahé wangelé), *Senna tora* (Hassa), *Bidens pilosa* (Chitsatsi) et *Amaranthus sp.* (Mdoudou) sont très remarquables.

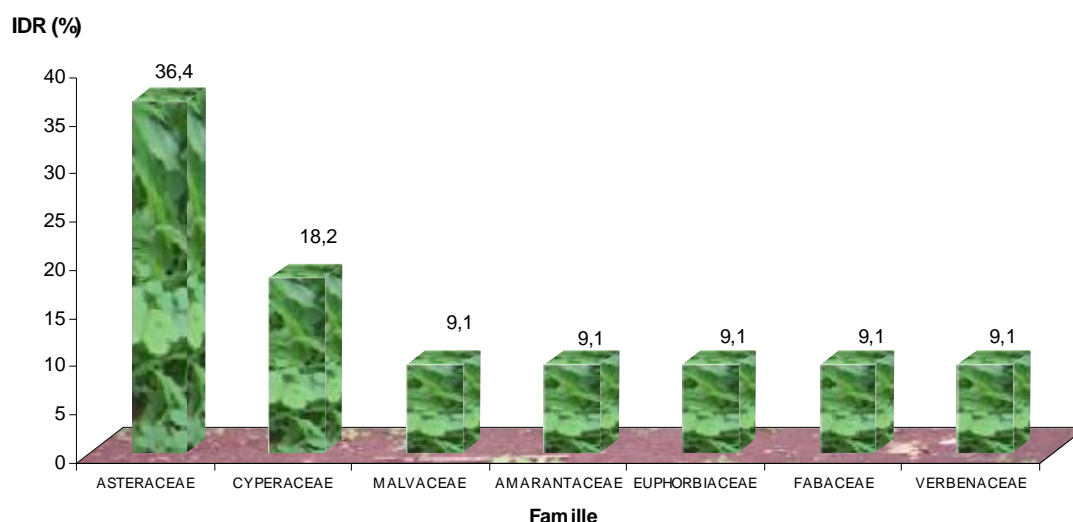


Figure 60- Répartition des familles dans un géotope de jachère herbeuse

Exemple d'une formation à dominance ligneuse à Ouzini (photo 31 & figure 61)

Les inventaires écologiques ont été effectués au début de la période pluvieuse (du 30 au 31 décembre 2010) dans un segment d'une longueur de 15 m et d'une largeur variable de 1 à 5 m de la rive gauche du cours d'eau Havundrékuni-Ajaho. Le site se localise dans le tronçon T1 aux coordonnées 12°15'43,7'' S et 44°27'41,9'' E à une altitude de 754 m. Le terrain du relevé est pentu ou plat par endroit et surplombe de 1 m le lit mineur de la rivière. Il est relié à un bourrelet de rive séparant le lit mineur et le lit majeur (*figure 61*). Il n'est submergé que périodiquement au moment de fortes crues. La couverture de la litière est importante avec une épaisseur avoisinant 3 cm surtout au niveau du bourrelet de rive où se concentrent quelques arbres et arbustes. Le sol est humide ; la température relevée (4 cm de profondeur à 9 h 20) est de 21,3°C. Les deux derniers horizons pédologiques (*tableau 12*) sont traversés de racines et radicelles. Le géotope à dominance de plantes ligneuses est de type sablo-limoneux de pH faiblement acide. Il est entouré de plantations de bananiers avec des girofliers (*figure 61*).

Tableau 12- Caractéristiques pédologiques d'un sol rivulaire à dominance de ligneux

Horizons (cm)	Code et couleur du sol sur terrain		pH dans l'eau et observations		Granulométrie (%)		
					Arg	Limon	Sable
H1 : 0-45	7,5 YR2,5/2	Very dark brown	6,46	Faiblement acide	8	15	77
H2 : 45-55	10 YR3/2	very dark grayish brown	6,42	Faiblement acide	6	15	79

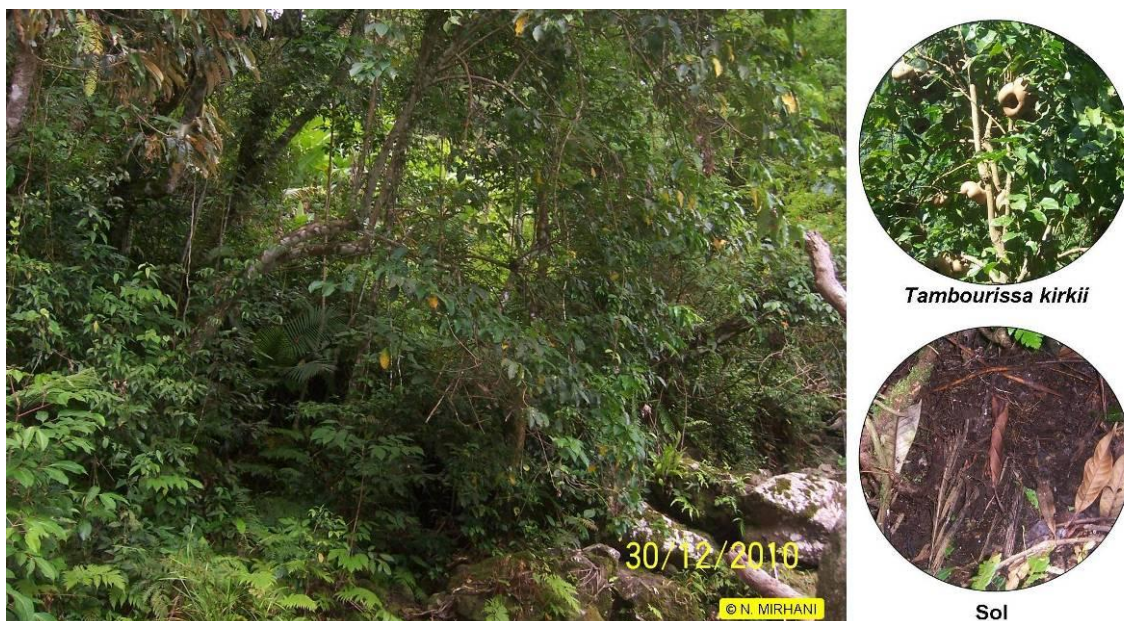
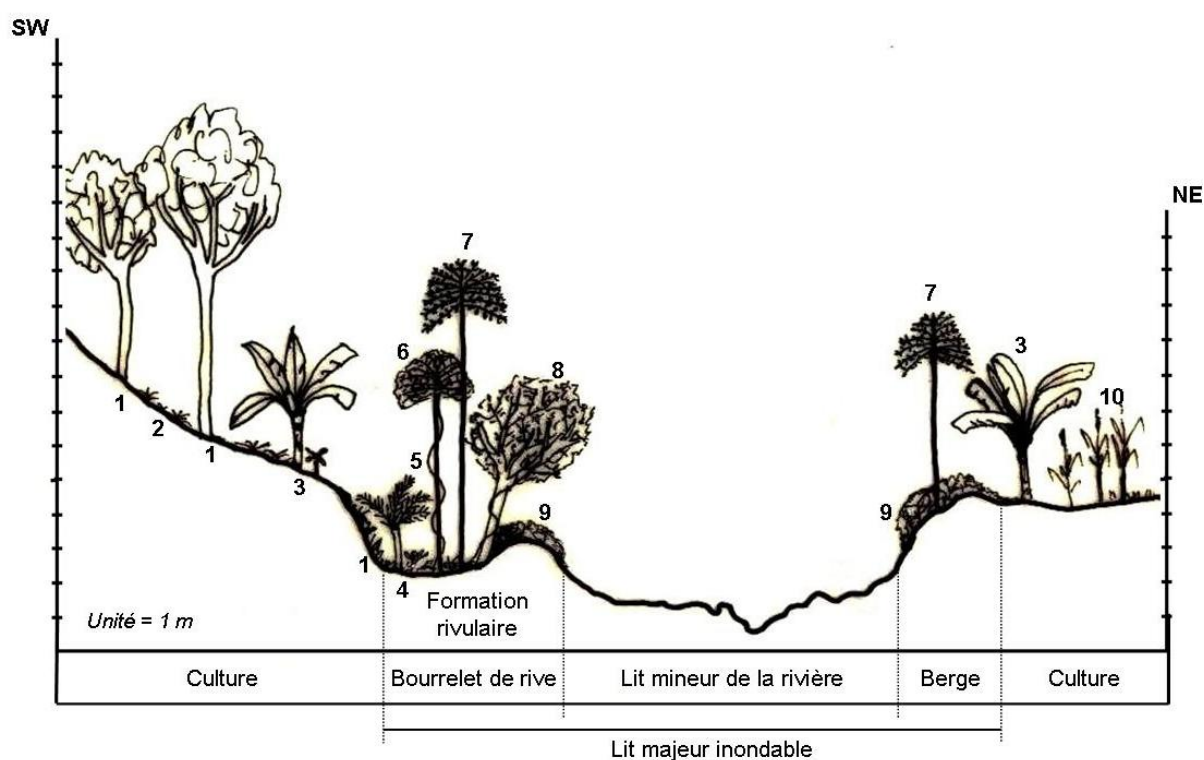


Photo 31- Site de relevés à dominance de ligneux sur la rive gauche de la rivière Havundrékuni



1-giroflier (*Eugenia caryophyllus*), 2-fougères, 3-bananiér (*Musa sp.*), 4- Mvovo (*Areca catechu*), 5- Liane, 6- Trenguemoua (*Schefflera myrifolia*), 7-Mougna (*Polyscias sp.*), 8- Mroundrantsolé (*Phyllanthus pervilleanus*), 9-Mbassera (*Lantana camara*), 10- Maïs (*Zea mays*)

Figure 61- Profil de la formation végétale couvrant le géotope étudié

Sur 21 espèces réparties dans 15 familles inventoriées, 33,3 % étaient en fructification et le reste à l'état végétatif. La hauteur et le diamètre maximaux sont respectivement de 16 m et 19 cm pour *Chrisophyllum boivini*.

Les Indices de Diversité Relative (IDR) les plus importants de la communauté végétale sont enregistrés chez les familles des ARECACEAE (19 %), RUBIACEAE (9,5 %) et URTACEAE (9,5 %) qui totalisent 38 % d'espèces. Les 13 familles restantes ne correspondent qu'à une espèce chacune (figure 62).

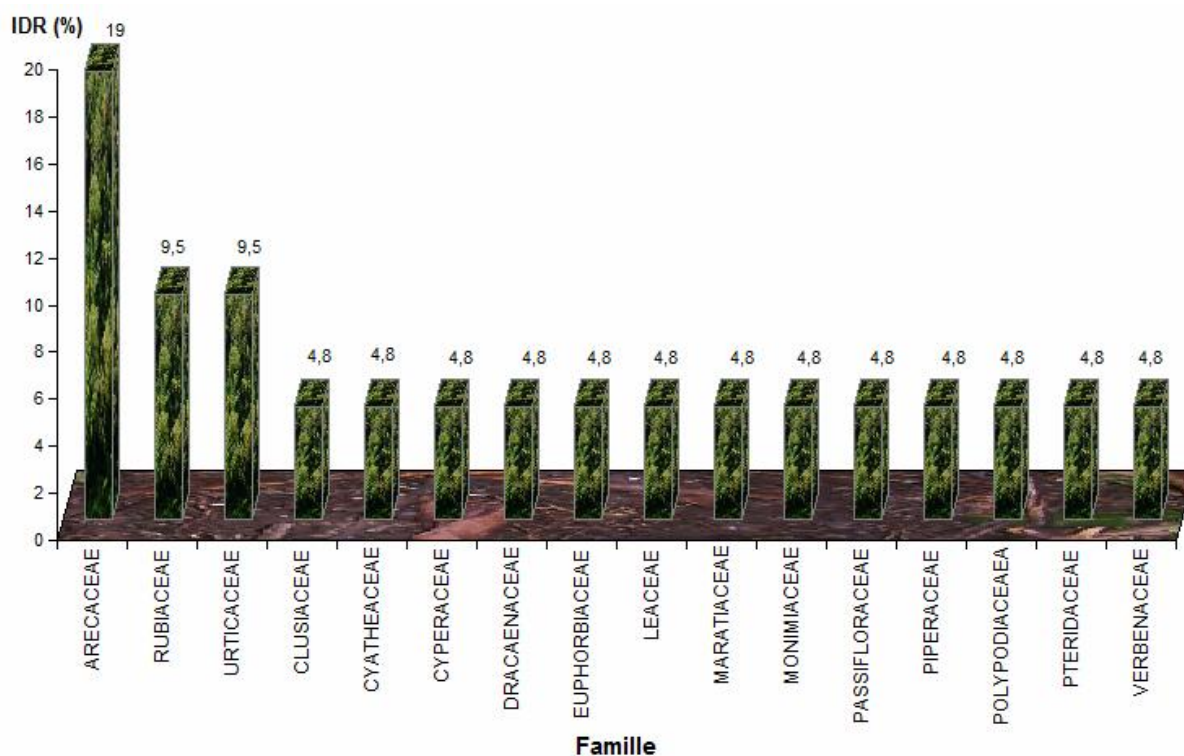


Figure 62- Répartition des familles dans un géotope à dominance ligneuse

Les espèces ligneuses représentent 66 % des plantes recensées dont les plus caractéristiques sont *Schefflera myrifolia* (Trenquema), *Polyscias sp.* (Mougna) (photos 32 & 33), *Phyllanthus pervilleanus* (Mroundrantsolé), *Chrisophyllum boivini* (Muri mossi/Mfouantsi), *Lea cuspidifera* (Chboumba ♀) et *Boehmeria macrophylla* (Chboumba ♂). Elles servent de supports aux lianes qui représentent 19 % des espèces : *Piper borbonense* (Ntsontso), *Adenia sp.* (Trambassy), *Urera acuminata* (Chtsendzi), etc. Quant aux fougères, elles sont estimées à 10 % et comprennent *Asplenium nidus* (Fougea) et *Pteridophyte phymatodes* (Mbindrio) (photos 34-35). Ces deux espèces se cramponnent aux roches, au bois mort ou aux troncs d'arbres. Un *Cyperus* – *Cyperus oblongifolia* (Mwanagnahé wangelé/wandrawo) a été observé à proximité du cours d'eau. *Lantana camara* et *Areca catechu* également inventoriés sont des espèces introduites. Le premier est envahissant et le second planté pour des besoins socio-culturels qui seront évoqués ultérieurement.



Photo 32- *Schefflera myrifolia*



Photo 33- *Polyscias sp.*



Photo 34- *Asplenium nidus*



Photo 35- *Pteridophyte phymatodes*

Exemple d'une formation végétale mixte à Pomoni (photo 36)

Les relevés écologiques ont été effectués en période fraîche et moins pluvieuse (juin 2011) le long d'une bande de terre rivulaire de 30 m de long sur 3 à 6 m de large. Le site se localise aux coordonnées 12°16'45.7''S - 44°24'33.4''E à 40 m d'altitude sur la rive gauche du petit fleuve de Pomoni appartenant au tronçon 3. La dénivellation entre le site du relevé et le chenal du cours d'eau est d'environ 80 cm. Le lit majeur sur lequel se sont déroulés les inventaires est couvert de quelques débris de végétaux morts. La terre est humide bien que la température relevée soit de 23,9°C sous couvert herbacé et de 23,8°C au pied d'un arbre à partir de 11 h²⁸. Le géotope est de type colluvionnaire de pH neutre (6,7) à abondance-dominance herbacée. Le pH dans le KCl montre que le sol évoluera vers une acidification qui est un phénomène naturel relatif à la pédogénèse mais qui peut être aggravé par l'action anthropique (*tableau 13*). De 0 à 40 cm de profondeur, le sol est traversé de nombreuses racinelles qui le fixent. Au-delà de 40 cm, le substrat est sableux. Aucun signe d'érosion n'est apparemment visible sur la rive. Mais le fait d'observer les racines de certains arbres rivulaires à nu (*photo 36*) semble indiquer qu'une partie de la berge a été décapée par les eaux.

Tableau 13- Code de couleur et pH du sol de la rive gauche en aval de petit fleuve Pomoni

Horizons (cm)	Code et couleur du sol sur terrain		pH dans l'eau et observations		pH dans KCl et observations	
H1 : 0-20	10YR2/2	Very dark brown	6,8	Neutre	5,5	Acide
H2 : 20-40	10YR2/2	Very dark brown	6,9	Neutre	5,6	Acide
H3 : 40-60	10YR2/1	Black	6,9	Neutre	5,7	Acide
H4 : 60-80	2,5Y2,5	Black	6,2	Acide	5,2	Acide

²⁸ Les deux relevés thermiques sont séparés d'une distance de 3 m.



Photo 36- Site de relevés écologiques le long de la rive gauche de petit fleuve Pomoni

10 espèces appartenant à 7 familles ont été inventoriées. La famille des FABACEAE est la plus représentée et comprend *Flemingia macrophylla* et *Flemingia strobilifera* qui sont des arbustes et *Erythrina sp.* (Mnougou) qui est un arbre. Les plantes ligneuses n'occupent que 40 % du site. Les 60 % de la flore restante sont constitués d'espèces herbeuses dont les plus abondantes sont *Hedychium coronarium* (Ntzinguziou yassera), *Axonopus compressus* (Kouni) et *Thelypteris sp.* (Kaouré). Cette abondance, surtout celle d'*Hedychium coronarium*, ne permet pas le développement d'autres espèces. La diversité floristique se trouve ainsi réduite. Concernant la structure verticale, la hauteur et le diamètre maximaux sont respectivement de l'ordre de 16 m et 220 cm chez *Erythrina sp.* Quant au groupe herbeux, la hauteur maximale est estimée à 110 cm chez *Hedychium coronarium*.

L'association des paramètres mésologiques et floristiques peut fournir des explications quant à l'absence de traces d'érosion sur le site d'étude. Les inventaires floristiques ont fait sortir deux espèces inféodées aux conditions du milieu rivulaire et ayant développé un système racinaire très remarquable :

- *Hedychium coronarium* est une espèce herbeuse. Avec sa forte densité, elle laisse apparaître un réseau racinaire très dense mais qui diminue au-delà de 40 cm sur une berge de faible dénivellation (80 cm).

- *Erythrina sp.* est une espèce arborée. Elle est maintenue par des contreforts et des racines puissamment étalées qui s'ancrent solidement dans le substrat.

Les parties souterraines des deux espèces explorent les horizons pédologiques différemment et constituent un rempart contre les actions mécaniques de l'eau jusqu'au pied de la berge et au-delà.

Sur un groupement herbeux à *Axonopus compressus* (Kouni) et au pied d'*Erythrina sp.*, les relevés thermiques ont montré une légère différence des températures. Par rapport aux herbes, *Erythrina sp.* est un arbre qui conserve bien mieux l'humidité du sol ; ce qui serait lié à l'ombre qu'il fournit. Cette espèce assure non seulement la protection des rives mais limite aussi l'évapotranspiration du sol et probablement des eaux courantes de proximité.

III.4.4- Une synthèse de la liste globale des échantillons botaniques collectés

En plus des inventaires botaniques effectués dans les géotopes herbeux et ligneux, sont venues s'ajouter des collectes itinérantes le long des vallées, sur les versants et les collines des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni. Le but était de renforcer la connaissance de la richesse floristique. 90 espèces appartenant à 45 familles ont été ainsi collectées dans l'ensemble des deux bassins versants. Six d'entre elles n'ont pas pu être identifiées scientifiquement. La figure ci-dessous ne fournit que les familles dont le nombre d'espèces collectées dépasse le chiffre de deux. Avec 7 espèces chacune, les ASTERACEAE et les RUBIACEAE sont les mieux représentées et cela grâce aux inventaires botaniques effectués dans les deux géotopes herbeux et ligneux à Ouzini. La première famille regroupe *Brachylaena ramiflora* (Mselelé), *Bidens pilosa* (Chatsi), *Lagera alata* (Mwanamariamo), etc. La seconde comprend *Breonia chinensis* (Mhonko), *Psychotria sp.* (Kakatrouhé), *Sabicea sp.* (Mbamba), etc. Cinq autres familles dont les FABACEAE, les MORACEAE, les CYPERACEAE, les ARALIACEAE et les LEGUMINOSEAE occupent la deuxième position avec quatre espèces chacune. Il faut noter que si les quatre premières familles couvrent des plantes majoritairement indigènes, il n'en est pas de même pour les LEGUMINOSEAE. *Sesbania sp.*, *Albizia sp.* et *Acacia sp.* ont été introduits et observés surtout sur les rives de la rivière Ajaho à Salamani. Leur nom vernaculaire n'est pas connu des riverains qui les qualifient de « muri wamzoungou » (arbre de blanc) (figure 63).

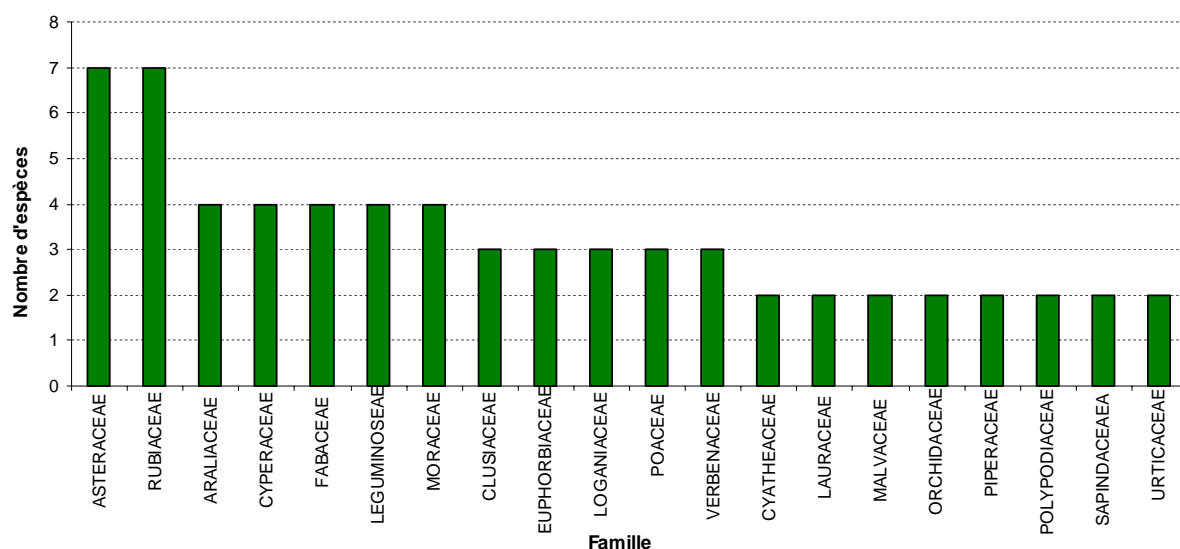


Figure 63- Quelques familles remarquables des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni

Sur les 22 familles considérées parmi les principales aux Comores par Labat *et al.* [2006], 86 % sont observées dans la zone d'étude. Mais le nombre d'espèces collectées est loin d'être exhaustif, non seulement à l'échelle de l'île mais aussi de celle des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni. Par rapport aux 90 espèces réparties sur 45 familles que nous avons échantillonnées, Daroussi [2006] en a recensé 133 réparties dans 62 familles rien que dans la forêt de Dzilandzé et de Beléa située en amont du bassin Lingoni-Pomoni. A partir des taxons conservés dans l'herbier du MNHN²⁹ et échantillonnés en 2006, Labat *et al.* ont dressé une liste de 608 espèces dont 67 sont endémiques à Anjouan.

Conclusion partielle : une analyse comparative des bassins versants

Le bassin versant Lingoni-Pomoni est de faible superficie par rapport à celui d'Ouzini-Ajaho. Si le premier dispose de terrains très pentus plus étendus que le second (55,1 % contre 45,2 % de superficie couverte), par contre l'altitude la plus élevée est atteinte à Ouzini. En commun, les deux bassins versants partagent une forme allongée d'après l'indice de compacité de Gravélius et une topographie accidentée.

Concernant le réseau hydrographique, le cours d'eau principal d'Ouzini-Ajaho et ses affluents sont plus longs que ceux de Lingoni-Pomoni. Le profil en long du chenal du premier est plus pentu (96,3 m/km) que celui du second (90 m/km). En effet, la rivière Havundrékuni-Ajaho comprend de nombreuses ruptures de pentes brutales et verticales (casse et chute) entraînant une forte dénivellation entre l'amont et l'aval. Mais l'acheminement de l'eau à

²⁹ MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle

l'exutoire du bassin versant Ouzini-Ajaho nécessite plus de temps que celui de Lingoni-Pomoni. Pour une même quantité de pluies répartie entre les deux bassins, les manifestations de crues ne seront pas loin de deux fois plus rapides dans le bassin de Lingoni-Pomoni que dans celui d'Ouzini-Ajaho.

Tableau 14- Récapitulatif des caractéristiques des bassins versants

Bassin topographique	Ouzini-Ajaho	Pomoni-Lingoni
Superficie (km ²)	19	15
Périmètre (km)	22	19
Longueur (km)	8,7	7,5
Largeur maximale (km)	3	3,6
Point culminant (m)	1468	1302
Superficie de pente forte à abrupt (%)	45,2	55,1
Classe et superficie de la pente dominante (%)	Forte : 33,6	Forte : 40
Indice de compacité de Gravélius	1,4	1,4
Isohyètes annuelles (mm)	2000 et 2500	2500
Réseau hydrographique		
Longueur de la rivière (km)	9,5	8
Longueur des affluents (km)	59,4	44,6
Altitude en amont du chenal (m)	935	740
Altitude retenue à l'exutoire (m)	20	20
Pente moyenne du chenal (m/km)	96, 3 (9,6%)	90 (9 %)
Temps de concentration du bassin (mn)	62 à 92	33 à 54
Densité du drainage (km/km ²)	3,6	3,5
Types d'écoulements	discontinu	permanement
Expositions aux vents dominants		
Types de vents	<i>Mnyombeni</i> et <i>Matulay</i>	<i>Kusi</i>
Superficie exposée (%)	55	13
Occupation des sols (%)		
mosaïque forêt, culture sous-forêt et agro-forêt	35,8	40
cultures	50	54,7
sol nu	7,4	0,28
urbanisation	6,78	4,82
Lac	0,02	0,2

La typologie d'occupation des sols est similaire dans les bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni. Mais si l'on compare les superficies, la mosaïque forêt - culture sous-forêt - agro-forêt ne couvre que 35,8 % à Ouzini-Ajaho contre 40 % à Lingoni-Pomoni. Le sol nu s'étend sur 7,4 % dans le premier bassin contre 0,28 % de superficie dans le second.

Les deux bassins versants reçoivent suffisamment de précipitations au cours de l'année, soit plus de 2000 mm vers l'amont. Ce n'est donc pas la quantité de précipitations interceptée qui fait défaut pour alimenter en permanence la rivière Ouzini-Ajaho dont l'écoulement est discontinu. L'écoulement discontinu de cette dernière relève sans doute de la géologie du milieu. On suppose qu'il existe un dyke ou un substrat compact qui limite la connectivité entre les nappes aquifères et la rivière de Havundrékuni. La seconde hypothèse serait que la structure géologique n'a pas permis la mise en place d'un réservoir de nappes souterraines ou perchées ou de coulée de vallée (*cf. figure 7*) suffisamment importantes pour alimenter en permanence les sections de chenaux à sec. Cette deuxième conjecture paraît la plus plausible car au niveau superficiel, le lac Dziadéngué supposé alimenter le cours d'eau Havundrékuni-Ajaho dans le bassin versant Ouzini-Ajaho ne peut avoir qu'une contribution réduite. Un autre argument justifiant la discontinuité des écoulements de la rivière havundrékuni serait l'absence des affluents permanents par rapport au cours d'eau de Pomoni. Il est également remarqué qu'au niveau des chenaux, les sections des profils faiblement pentus ou encombrés de blocs de roches ou de sable ne favorisent pas le drainage superficiel.

Chapitre IV. Dynamiques d'évolution des composantes géosystémiques

Après l'analyse descriptive des composantes géosystémiques au chapitre III, nous allons étudier la dynamique de leur évolution. Nous procéderons à un état des lieux associé à des analyses diachroniques des composantes anthropiques et naturelles des géosystèmes pour appréhender les changements ou les transformations ainsi que leur rôle dans la perturbation du fonctionnement hydrologique. Pour ce faire, nous analyserons en premier lieu le climat comme facteur de la dynamique d'évolution naturelle. Par la suite, le volet social sera consacré à la dynamique démographique et spatio-temporelle de l'occupation des sols. Enfin, nous présenterons les changements de modes d'utilisation des ressources des bassins versants.

IV.1- Le climat comme facteur de la dynamique d'évolution naturelle

Dans le contexte actuel du changement climatique, les petites îles tropicales sont particulièrement sujettes à interrogation quant à leur devenir d'autant plus que le degré de confiance dans les scénarios les plus négatifs est très élevé [Legoff, 2010]. Pour mieux prévoir les risques naturels relatifs à ce changement, nous étudierons les tendances évolutives des précipitations, des températures et de la saisonnalité pour finir avec les exemples des aléas climatiques qu'a connus le pays : cyclones et pluies diluviennes.

IV.1.1- Les tendances évolutives des précipitations et des températures

Sur 30 ans d'observations de 1981 à 2010, la station de l'aérodrome d'Ouani a enregistré une moyenne pluviométrique de 3187,7 mm. La répartition des normales en trois décennies de cette période montre que les précipitations ont tendance à diminuer passant de 4266,4 mm pour la première de 1981 à 1990 à 3871 mm pour la seconde de 1991 à 2000 et à 2227,6 mm pour la troisième de 2001 à 2010. L'écart s'accroît de 395,4 mm entre les deux premières décennies et de 1634,4 mm entre les deux dernières. Les changements sont particulièrement notables à partir de la dernière décennie 2001-2010 puisque sa moyenne pluviométrique est inférieure à la normale enregistrée sur les 30 ans d'observations de 1981 à 2010 (*figure 64*). Cette dégradation du régime pluviométrique se traduit par une diminution de la quantité d'eau recueillie dans les bassins versants.

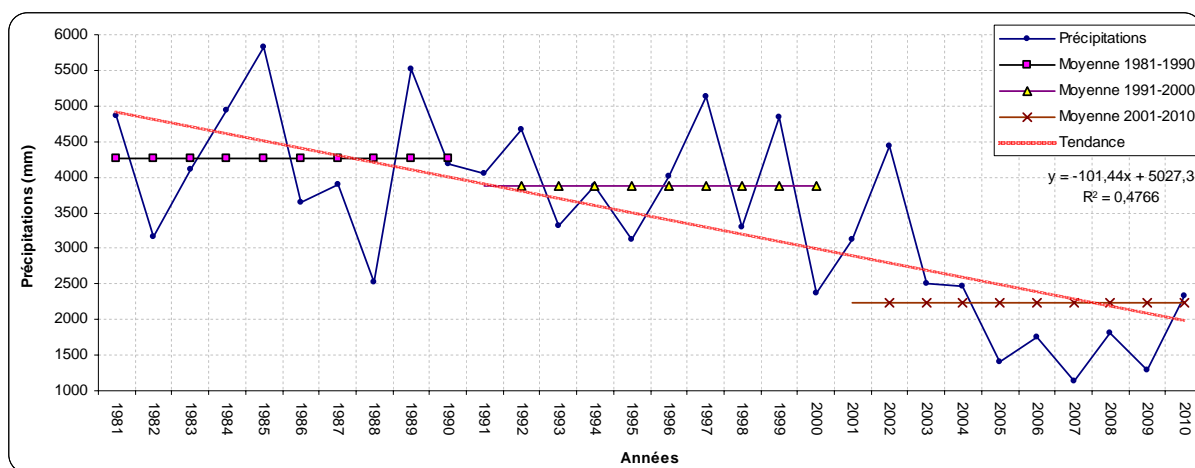


Figure 64- Tendances évolutives des précipitations de 1981 à 2010 (Station de Ouani)

Sur 30 ans d'observations de 1981 à 2010, les températures ont tendance à augmenter et varient d'une année à l'autre. Le pic est atteint en 2010 avec 27,2°C. Avec 25,5°C, les années 1983 et 1989 ont connu la moyenne thermique la plus faible. Il s'agit des températures les plus éloignées de la normale de 26°C enregistrée entre 1978 et 1996, soit une période de 19 ans. L'écart est de 0,6°C si on compare la moyenne thermique de 1981 à 1986 (25,9°C) avec celle de 2005 à 2010 (26,5°C). Les années 2000 sont marquées par une hausse de températures par rapport à celles de 1980 (*figure 65*). Si cette évolution se maintient, les années à venir seront marquées par des températures de plus en plus croissantes.

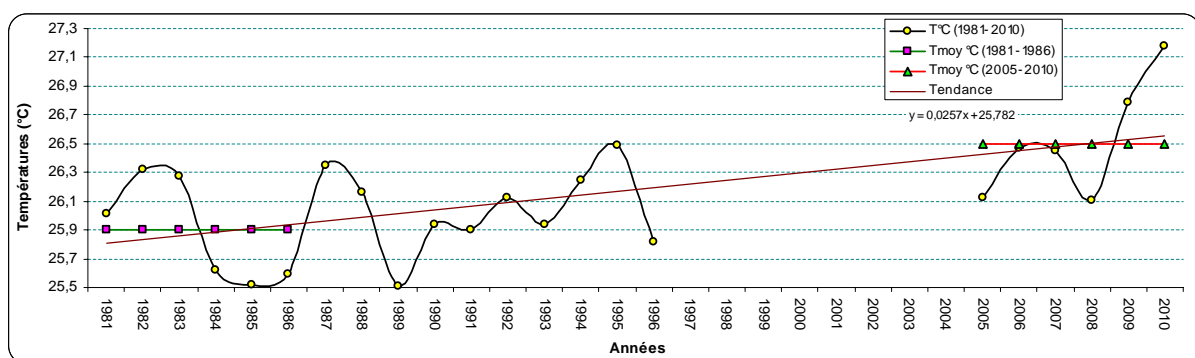


Figure 65- Tendances évolutives des températures de 1981 à 2010 (Station de Ouani)

IV.1.2- La saisonnalité

Pour mettre en évidence les changements saisonniers survenus durant les périodes de 1978-1983 et 2005-2010³⁰, on analysera l'évolution de la saisonnalité de ces deux périodes à partir de l'Indice d'Ecart Thermique (ET) (*figure 66*) et à partir du digramme pluvio-thermique de Gaussen (*figures 67 & 68*).

³⁰ Il n'a pas été possible d'obtenir des données thermiques remontant à 30 ans pour mieux définir les tendances évolutives de la saisonnalité.

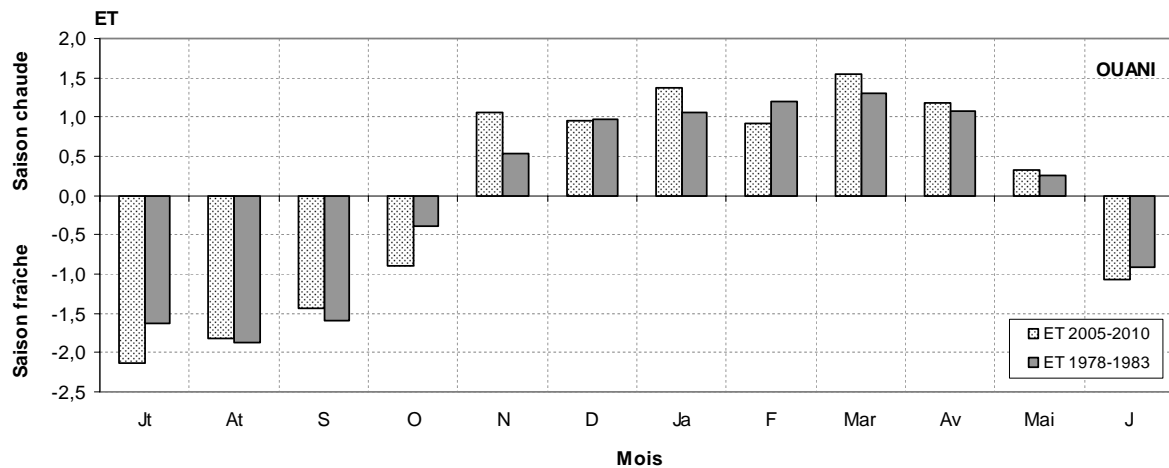


Figure 66- Les saisons thermiques de 1978-1983 et 2005-2010 (Station de Ouani)

La comparaison des Indices d'Ecart Thermique montre que la répartition des saisons thermiques est la même pour les périodes de 1978-1983 et 2005-2010. La saison fraîche commence entre juin et octobre et la saison chaude à partir de novembre à mai. Si ces deux saisons sont également réparties entre les deux périodes de six années d'observations, ce n'est pas le cas pour les températures. Les normales inter-saisonnières de 2005-2010 ont connue une hausse par rapport à celles de 1978-1983. Les écarts respectifs sont de l'ordre de $25-24,8 = 0,2^{\circ}\text{C}$ pour la saison fraîche et de $27,6-27 = 0,6^{\circ}\text{C}$ pour la saison chaude.

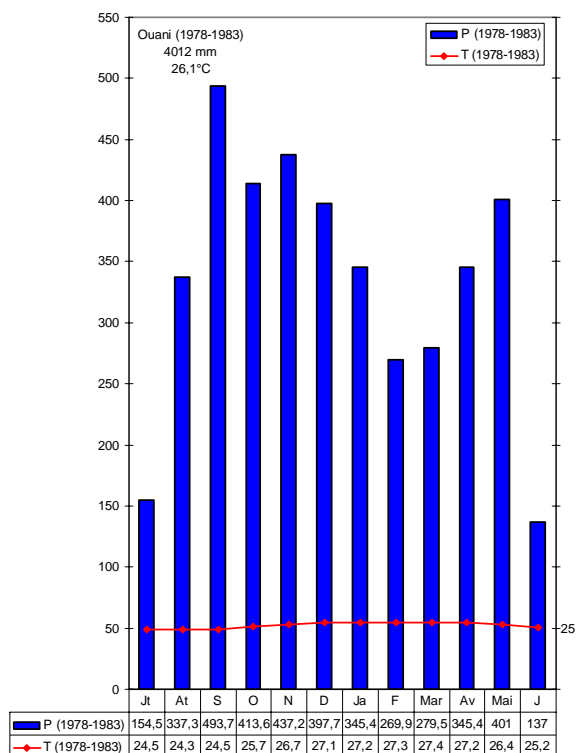


Figure 67- Diagramme ombrothermique d'Ouani 1978-1983 (Station de Ouani)

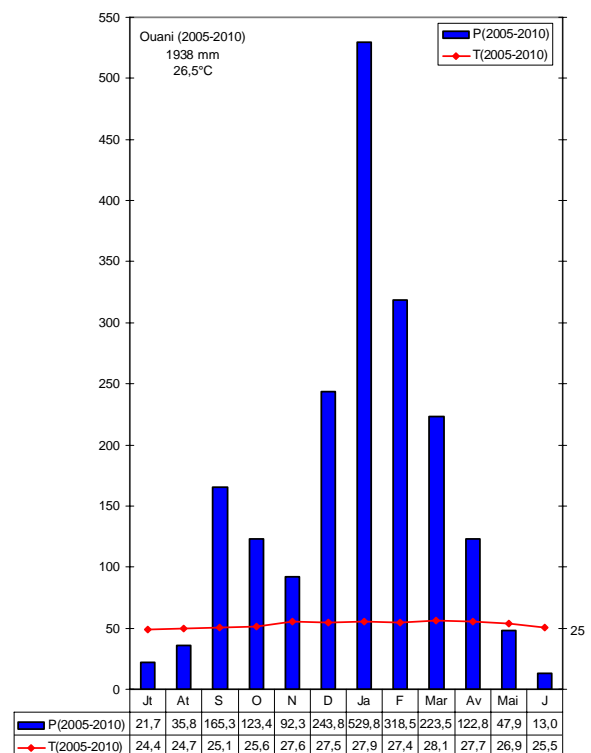


Figure 68- Diagramme ombrothermique d'Ouani 2005-2010 (Station de Ouani)

Ci-dessus, les diagrammes ombrothermiques de 1978-1983 et 2005-2010 affichent une nette différence. La première ne laisse apparaître aucun mois sec. Mais après un intervalle de 21 ans, le digramme de Gaussen enregistre 4 mois secs et 8 mois humides pour la période d'observation 2005-2010. L'île d'Anjouan, et plus précisément la localité d'Ouani, est passée d'une période où la saison humide représentait 100 % à celle de 94% du total pluviométrique annuel. De ces observations, on peut affirmer que la saison sèche a tendance à s'étendre au profit de la saison pluvieuse. Cette affirmation n'est que partielle puisque les six années d'observation considérées pour les deux périodes sont très courtes pour englober tous les cas de figures du climat.

Bref, Anjouan connaît une diminution des précipitations et une hausse des températures. Les comparaisons faites entre 1978- 1983 et 2005-2010 laissent croire que la saison thermique n'a pas enregistré de décalage : 7 mois chauds et 5 mois frais. La saison humide a par contre reculé au profit de 4 mois secs. Le tableau ci-dessous récapitule les évolutions ombrothermiques de 1978-1983 et 2005-2010.

Tableau 15- Récapitulation sur les données ombrothermiques entre 1978-1983 et 2005-2010 (Station de Ouani)

Années	Température (°C)			Précipitation (mm)			Saisons climatiques (mois)			
	Mois + chaud	Mois + frais	Moyenne annuelle	Mois + arrosé	Mois - arrosé	Total annuel	Thermique		pluviométrique	
							chaude	fraîche	humide	sèche
1978-1983	mars : 27,4	août : 24,3	26,1	sept : 493,7	juin : 137	4012,1	7 mois : nov à mai	5 mois : juin à oct	Année	0
2005-2010	mars : 28,1	juillet : 24,4	26,5	janvier : 529,8	juin : 13	1937,7	7 mois : nov à mai	5 mois : juin à oct	8 mois : mai à août	4 mois : sept à avril

IV.1.3- Les aléas climatiques de l'Océan Indien à l'archipel des Comores

Les bassins versants étudiés font face à des aléas climatiques dont la genèse remonte à l'échelle régionale, donc de l'Océan Indien. Il nous semble nécessaire de partir de cette échelle pour descendre au niveau insulaire qui nous conduira vers une échelle géosystémique qui est celle des bassins versants.

Par leurs ravages, les cyclones, les rafales de vents ainsi que les pluies diluviennes qu'ils gèrent à l'intérieur des terres sont parmi les aléas climatiques les plus redoutés à Anjouan. Généralement, ils ont leur centre d'action dans l'Océan Indien qui est une zone de cyclogenèse. Lorsque alizé et mousson entrent en contact, une convergence se crée provoquant de violents courant ascendants générateurs de lourdes pluies : c'est la C.I.T. [Donque, 1975] appelée zone de convergence intertropicale. Celle-ci peut traverser les Comores durant l'été austral (de novembre à avril). C'est le long de ce front que prennent

naissance les dépressions intertropicales ou les cyclones en direction d'Est en Ouest [Battistini & Verin, 1984]. Relativement rares par rapport à l'île voisine de Madagascar, ces cyclones peuvent être redoutables aux Comores [Robineau, 1966] bien que l'archipel soit abrité par Madagascar. Leurs itinéraires peuvent présenter tous les cas de figures [Legoff, 2010]. Déjà, de 1910 à 1990, l'archipel a été affecté par une quarantaine de perturbations cycloniques ; ce qui représente, en moyenne, un cyclone tous les deux ans [Guebourg, 1996]. Les instances internationales dont le PNUD prennent la situation au sérieux en avançant un Index de Risque de Catastrophe qui classe l'archipel dans les dix régions du monde les plus vulnérables aux cyclones tropicaux [Legoff, 2010]. Citons quelques uns ayant touché Anjouan et les autres îles : GAFILO en mars 2004, KAMISY en avril 1984, ELINAH en janvier 1983 et d'autres n'ayant pas été attribués des noms comme ceux de 1906, 1950, etc. Se référant à la littérature et des témoignages, les ravages causés par ces phénomènes météorologiques sont importants au niveau des infrastructures (routes, ponts, digues, etc.), des habitations, de l'agriculture et en vies humaines. Il suffit que les pluies apportées par ces cyclones ou générées par d'autres facteurs météorologiques régionales ou locales se prolongent pour qu'elles deviennent diluviennes. Pour mieux saisir l'ampleur des ravages causés par les cyclones et les pluies diluviennes, il convient de focaliser les observations à l'échelle d'Anjouan et de ses bassins versants. Des faits relatés et observés illustreront les impacts des aléas climatiques au niveau environnemental et socio-économique.

IV.1.4- Les ravages cycloniques et les pluies diluviennes à Anjouan

Le cyclone « *dharouba* » du 21 au 22 décembre 1950 et les pluies diluviennes du 18 avril 2012 marquent la trajectoire des géosystèmes d'Anjouan. Voici le constat fait par Robineau [1966] : *le cyclone de 1950 qui, en quelques heures, ravagea l'île et arracha des milliers de cocotiers est encore dans toutes les mémoires, comme en d'autres lieux de fameux tremblements de terre ou des éruptions volcaniques*. Cette calamité naturelle avait causé d'énormes préjudices à toute l'économie du pays. Il semble bien que plus de 60 % des plantations étaient détruites [Hassani-El-Barwane, 2009]. Dans le bassin versant Ouzini-Ajaho, les témoignages recueillis font état d'une forêt ravagée (chablis, ouverture de clairières, arbres morcelés,...) pour ne pas dire « éradiquée³¹ », des cultures vivrières et des plantations coloniales saccagées et un réseau hydrographique fortement modifié suite aux vents violents,

³¹ Le terme « éradication » est couramment utilisé par les vieillards pour justifier l'ampleur des dégâts causés par le cyclone. Il semble être une exagération qui est également reprise par les jeunes. On préfère parler d'une forêt ravagée (chablis, ouverture des clairières ou arbres morcelés,...)

ruissellements intenses, mouvements de masse (glissements de terrain, Mudflows, éboulements, etc.) et crues extrêmes. Au fil du temps, la forêt endommagée s'est reconstituée mais probablement dans une autre structure vu l'action anthropique (coupe de bois et culture).

Les pluies torrentielles d'avril 2012 ont affecté de nombreuses localités dont dix (Vassi, Vouani, Dzindri, Pomoni, Moya, etc.) réparties dans le domaine hydrologique de Sud-Ouest. Mais c'est dans le bassin versant Ouzini-Ajaho situé dans le domaine de l'Est que sont déplorés les nombreux dégâts suite à ces pluies diluviennes d'environ 10 heures de temps, de la nuit jusqu'au matin. A Ouzini (partie amont du bassin versant), elles ont provoqué une trentaine de glissements de terrains appelés localement « madaandri » dans de nombreux secteurs (Havoudrékuni, Dzahani, Hagobi, Kojani, Gomeni, Mwanajamari, Majijou, Gagani, Djidjini, etc.), avec des crues d'amplitude extrême causant d'importants dégâts.

Les matériaux arrachés sur les versants ont considérablement défiguré le paysage agricole. « Difficile de connaître nos terroirs culturels « *miindra* » complètement remblayés », insistent des paysans. « On aurait cru à l'œuvre des bulldozers ! » s'exclamait un témoin. Encombrés de blocs de roches ou transformés en lit de cours d'eau, des hectares de terres arables ont été perdus à jamais (*photo 37*). Bananier, taro, patate, arbre à pain, giroflier, manioc et tomate étaient les principales cultures les plus affectées. Par endroit, des bananeraies sont ensablées et des témoins de girofliers donnent l'impression d'avoir poussé sur des blocs de roches (*photo 38*). Une partie du cheptel bovin et caprin a été décimé. Or, l'agriculture et l'élevage constituent la principale source de revenus de la majorité des habitants d'Ouzini. Les recensements de 2003 estiment à 69,8 % les personnes opérant dans le secteur primaire. Ce chiffre est à revoir à la hausse d'après nos observations et entretiens. Une chose est certaine, l'économie paysanne a été sévèrement touchée.

Les effets de décapage et les mouvements de masse ont été visibles au niveau du réseau d'adduction en eau potable. Les tuyaux d'acheminement ont rompus, certains sont ensevelis et d'autres emportés. L'un des deux bassins de rétention d'eau construit en 1982 (celui de Hagobi à 830 m d'altitude) qui ravitaille le réservoir principal que se partagent Ouzini et Salamani a été endommagé par les éboulements. La situation est pareille pour Ngandzale où le captage a été endommagé. Les habitants de la commune ont connu des difficultés d'accès à l'eau. D'autres infrastructures à savoir, les escaliers du pont de Djidjini à Ouzini ont été partiellement touchés par les crues après l'effondrement de la berge qui les maintenait (*photos 39 & 40*).



Photo 37- Des terrains arables engravés par les crues ravageant les cultures



Photo 38- Des plantations de girofliers encombrées de blocs de roches

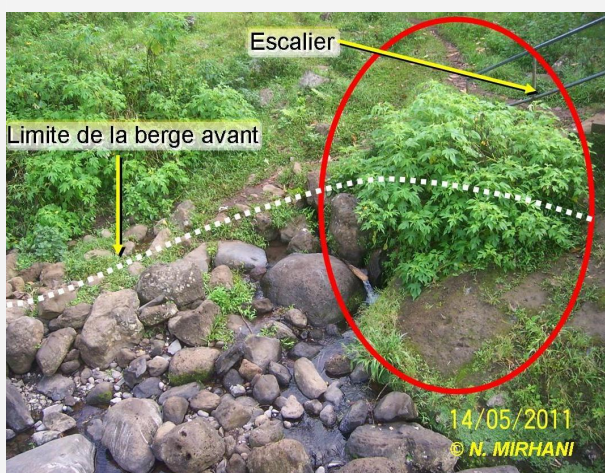


Photo 39- Une berge reliant les escaliers du pont de Djidjini stabilisée avant les pluies diluviennes du 18/04/12 (Ouzini)



Photo 40- Recul de la berge et érosion du substrat des escaliers du pont de Djidjini par les crues extrêmes du 18/04/12 (Ouzini)

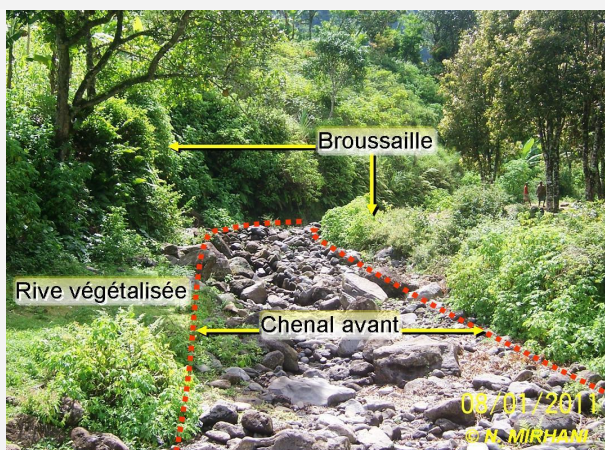


Photo 41- Etat du chenal le 02/01/11 avant les pluies diluviennes du 18/04/12 à Djidjini (Ouzini)

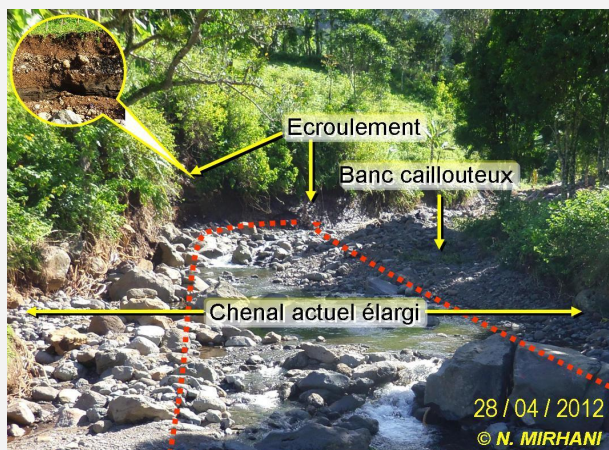


Photo 42- Ecoulement et élargissement du chenal après les pluies diluviennes du 18/04/12 (Ouzini)

Les rives, les formations riveraines des cours d'eau ou buissonnantes à *Lantana camara* ou *Tithonia diversifolia*, une partie de la couverture forestière sur les versants, ont été systématiquement ravagées. Des berges se sont écroulées dans le secteur amont où la vallée est en berceau. Le lit de la rivière s'est de ce fait considérablement élargi. Ce changement est mis en évidence avant (août 2005) et après les crues extrêmes (avril 2012) dans deux sections séparées d'une distance de 470 m appartenant au tronçon 2 de la rivière Havundrékuni-Ajaho (figures 69 & 70). Suivant le sens des écoulements, à quelques mètres avant le pont de Djidjini, la largeur du chenal est passée de 7 à 13 m (photos 41 & 42). L'élargissement du lit a atteint son maximum après 80 m du pont ; sa largeur de 5 m a quadruplé. Dans le même tronçon, des îlots alluviaux depuis longtemps stabilisés par la végétation ont disparu. De nouveaux chenaux se sont formés et des bras morts de la rivière sont de nouveau entrés en activité.

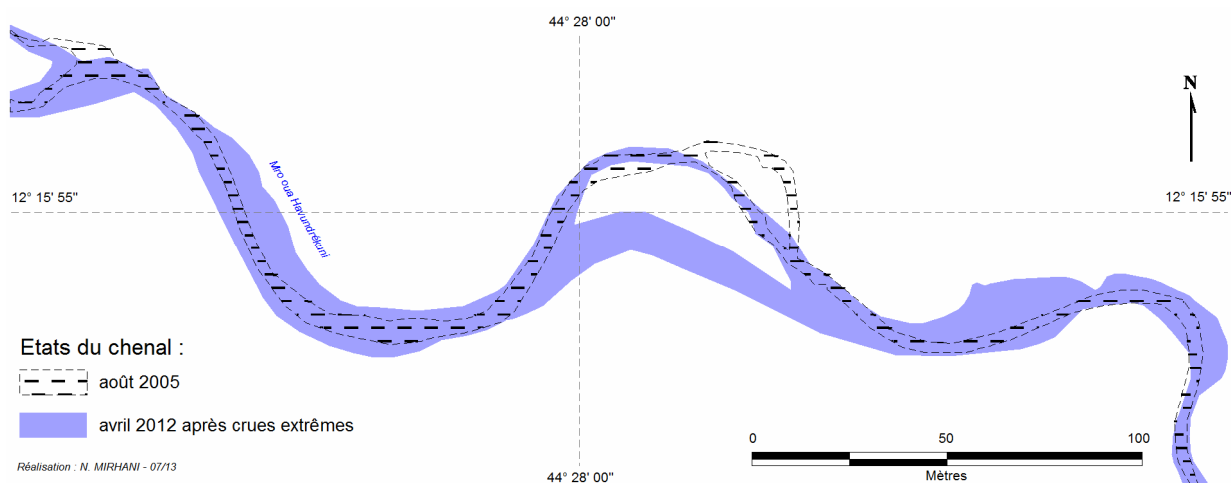


Figure 69-Evolution d'un chenal de la rivière Havundrékuni en 2005 et 2013 dans le tronçon 2

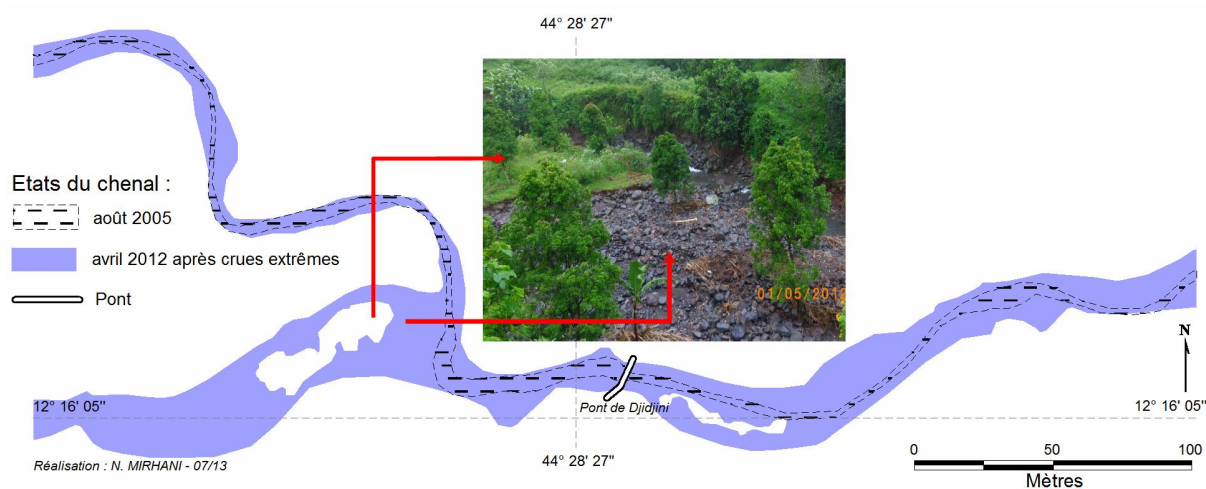


Figure 70-Evolution d'un chenal de la rivière Havundrékuni 2005-2013 dans le tronçon 2 passant sous le pont de Djidjini

A part le rôle des crues dans l'élargissement des chenaux, les glissements de terrains et les mudflows observés à Ouzini ont eu d'autres impacts sur la morphodynamique et l'hydrodynamique. Les charges résultant de ces mouvements de masse sont en partie déposées au pied des versants modelant ainsi leurs formes passant de plate à pentue et/ou continuant leur parcours pour rejoindre le talweg. En fonction de la force des eaux surtout en amont, des sections du lit de la rivière sont encombrées de blocs de roches ou engravées. C'est à partir de Salamani jusqu'à l'embouchure que se trouve la section la plus ensablée. Reprenant la remarque faite par Marston cité par Malavoi & Bravard [2010], ces matériaux ont surélevé le fond du chenal dans de nombreuses sections. Des sous-écoulements se sont en conséquence substitués aux écoulements superficiels dans certains talwegs (*photo 43*). Dans d'autres sections, les crues ont par contre creusé le lit à une profondeur pouvant atteindre 2 m. Le cours d'eau doit par ricochet subir une modification de rythme de ses écoulements dont les tendances évolutives ne sont pas encore connues.



Photo 43- Processus et impacts de charriage de matériaux issus de mudflows en rivière

Dans la vallée encaissée, le champ de divagation de la rivière est très limité. Les crues ne sont pas parvenues à saper les berges constituées de formation basaltique saine et continue. Suite à cet encaissement, leur niveau a dépassé les quatre mètres et leur débit était puissant pour traîner de grands arbres de diamètre plus ou moins égal à un mètre jusqu'à l'embouchure.

Eugenia jambosa reste parmi les rares arbustes ayant résisté à ce déchaînement des crues bien que l'espèce soit complètement défeuillée.

L'intensité des impacts des aléas climatiques sur la morphodynamique et l'hydrodynamique aurait pris une autre dimension si le bassin versant évoluait dans sa trajectoire naturelle, c'est-à-dire sans transformation à dominante anthropique. Par son mode d'occupation et d'utilisation du sol ainsi que d'autres ressources naturelles, l'homme est devenu un facteur incontournable dans la dynamique d'évolution des composantes géosystémiques d'Anjouan.

IV.2- Les facteurs et la dynamique d'évolutions anthropiques des bassins versants

Parler d'une dynamique d'évolution anthropique dans les bassins versants revient à dresser d'abord un tableau d'événements historico-démographiques. Ces derniers constituent un point d'entrée pour la compréhension de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol et de l'utilisation des ressources naturelles.

IV.2.1- Anjouan face à une croissance démographique à tendance linéaire

Les chiffres donnés par Manicacci, tout comme le taux d'accroissement actuel, corroborent le fait que, depuis 1930-35 jusqu'à 1958, la population d'Anjouan a doublé (37 054 habitants en 1935 contre 61 815 en 1958) [Robineau, 1966]. Tous les événements historiques contraignants évoqués plus haut n'ont pas empêché la croissance démographique qui suit une progression linéaire (*figure 71*). Estimée à 83 829 en 1966 [INSEE, 1968]³², la population passe à 243 732 en 2003 [DNR, 2005]³³. Durant ces 37 ans, elle a augmenté de 65,6 % et la densité est passée de 197,7 hab/km² à 574,8 hab/km² pour atteindre le record en Union des Comores. Elle dépasse largement la densité à l'échelle nationale estimée à 309,1 hab/km² en 2003, contrairement à Mohéli et en Grande-Comore où les densités respectives sont de 123,3 hab/km² et 258,2 hab/km².

³² INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

³³ DNR : Direction Nationale du Recensement

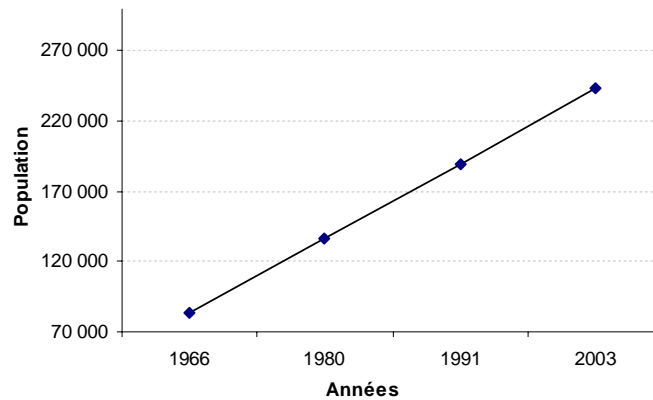


Figure 71- Evolution de la population d'Anjouan en 1966 et 2003

La population continuera à croître linéairement si l'on se fie aux projections de 2004 à 2010. Elle passe de 250735 à 285707 habitants pour des densités respectives de l'ordre de 591,3 à 673,8 hab/km². Mais cette croissance n'est qu'une apparence générale qui masque des réalités locales. Il convient de réduire le champ d'observation à l'échelle des bassins versants pour dégager d'autres facettes de l'évolution démographique.

IV.2.2- Le bassin versant Ouzini-Ajaho face à une croissance démographique irrégulière

Dans le bassin versant Ouzini-Ajaho, on note quatre villages dont Ouzini, Outsa, Ngandzale et Salamani. La courbe du total démographique présente une montée discontinue entre 1966 et 2003 (*figure 72*). Elle enregistre son chiffre le plus bas en 1980 pour 2368 habitants contre 3348 en 1966. Arrivée en 1991, la population a triplé celle de 1980 dans un intervalle de 11 ans. L'allure de la courbe illustre une période qui a connu un rythme de croissance accélérée de la population et qui a ralenti pour atteindre un total de 9136 en 2003 (*tableau 16*).

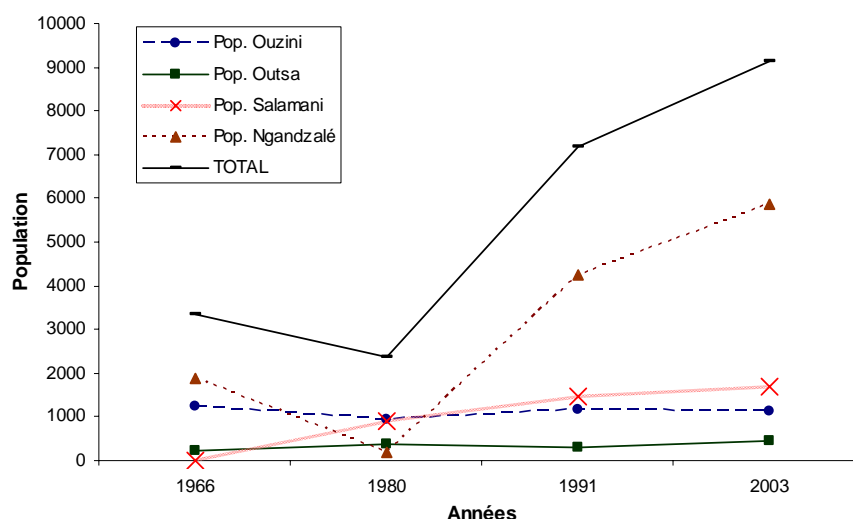


Figure 72- Evolution de la population dans le bassin versant Ouzini-Ajaho [MIRHANI *et al.*, 2014]

Tableau 16- Evolution de la population dans le bassin versant Ouzini-Ajaho

Année		1966 (1)	1980 (2)	1991 (3)	2003 (3)
Villages	Ouzini	1257	926	1173	1129
	Outsa	218	359	304	456
	Salamani	0	893	1462	1694
	Ngandzalé	1873	190	4252	5857
TOTAL		3348	2368	7191	9136

Sources :

(1) INSEE -- Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (1968), (2) Direction de la Statistique (1984),

(3) DNR -- Direction Nationale du Recensement (1993) et (2005)

Les évolutions irrégulières des courbes démographiques des villages d'Ouzini, Outsa et Ngandzalé sont surtout liées à une descente d'une partie de la population des zones altitudinales entre 700 et 600 m vers les terres de basses altitudes au-dessous de 335 m (*figure 73*). Seul le village d'Ouzini a vu une partie de sa population diminuer ; elle est passée de 1257 en 1966 à 1129 en 2003. Cette situation est sans doute liée à une migration des habitants de ce petit village vers Mayotte mais aussi dans les centres urbains d'Anjouan. Le rapport du FADC³⁴ [2006] avait estimé à 600 les natifs d'Ouzini vivant dans cette île sœur. Bien que le village « se vide » de ses habitants, cela n'a pas infléchi la croissance démographique considérée dans la totalité du bassin versant. La densité 480,8 hab/km² estimée pour 2003 est proche du triple de celle de 1966 (176,2 hab/km²).

³⁴ FADC : Fonds d'Appui au Développement Communautaire

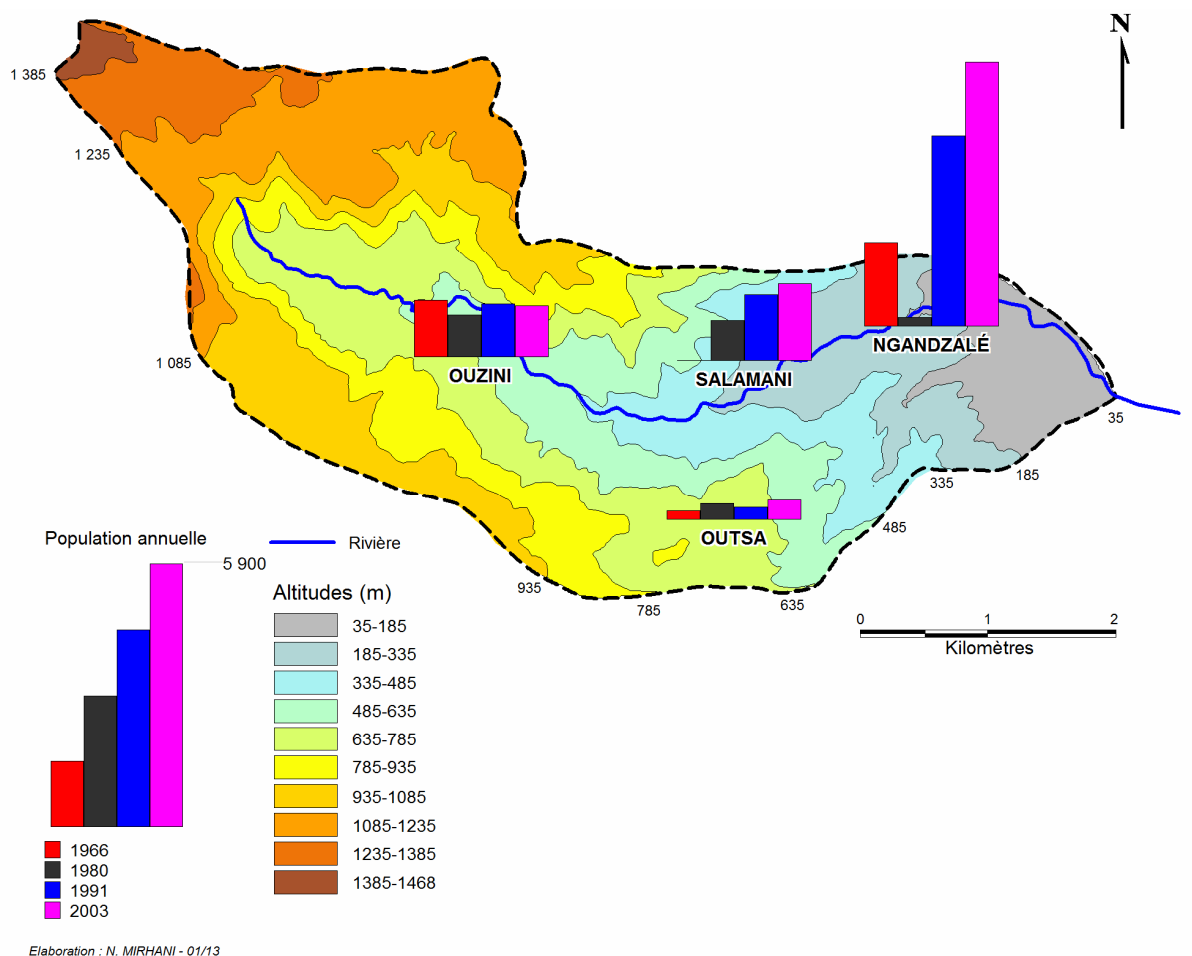


Figure 73- Répartition évolutive de la population dans le bassin versant Ouzini-Ajaho

IV.2.3- Le bassin versant Lingoni-Pomoni : une croissance démographique à tendance « exponentielle »

Dans le bassin versant Lingoni-Pomoni, la courbe du total de la population de 1966 à 2003 donne l'impression d'une croissance à tendance « exponentielle » (figure 74) contrairement à celle d'Ouzini-Ajaho. En 2003, la population a atteint le chiffre de 7348. Elle est proche du double de ce qu'elle était en 1991, du triple de ce qu'elle était en 1980. Le nombre d'habitants de 2003 dépasse légèrement le quadruple de celui de 1966 (tableau 17) ; il correspond à une augmentation de 77, 2 % de la population en l'espace de 37 ans.

Tableau 17- Evolution démographique dans le bassin versant Lingoni-Pomoni

Année		1966 (1)	1980 (2)	1991 (3)	2003 (3)
Villages	Pomoni	817 ?	1270	1825	3000
	Lingoni	855	1298	2228	4348
TOTAL		1672	2568	4053	7348

Sources :

(1) INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (1968), (2) Direction de la Statistique (1984), (3) DNR : Direction Nationale du Recensement (1993) et (2005)

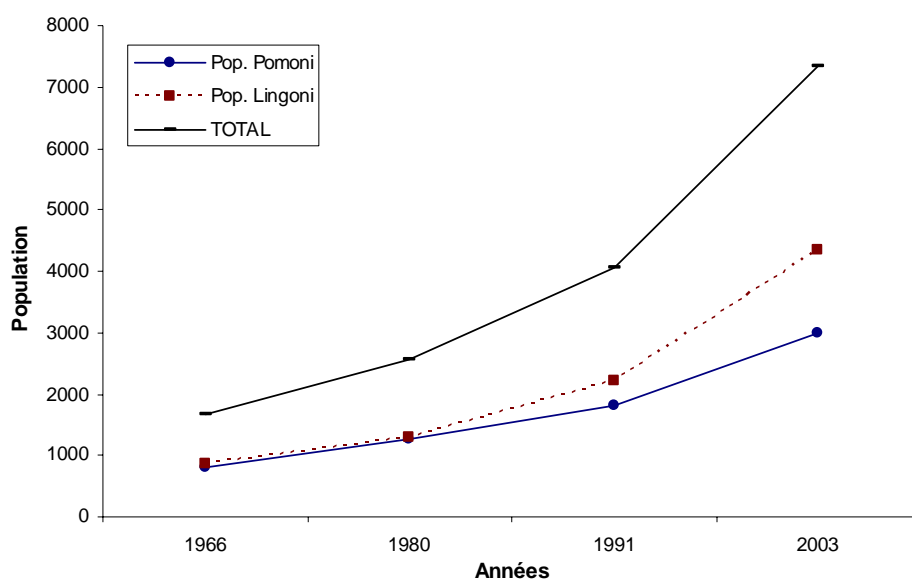


Figure 74- Evolution de la population dans le bassin versant Lingoni-Pomoni

L'évolution démographique entre 1966 et 2003 laisse voir que la population de Lingoni reste toujours supérieure à celle de la plaine de Pomoni (*figure 75*). Il n'y a pas eu de descente des habitants de cette première localité vers la seconde susceptible de modifier le rythme de la croissance démographique comme nous l'avons vu à Ouzini-Ajaho. En effet, les contextes historiques des habitants entre les deux localités sont différents. Lingoni a été fondé vers le XIXe siècle par des descendants de Dindri³⁵ qui ont travaillé dans les plantations de Pomoni. Par contre, les premiers habitants de la plaine de Pomoni étaient des *Makua* « ramenés d'Afrique de l'Est » [IBOUROI, 2014] par les chefs des firmes pour servir dans l'industrie sucrière. La croissance démographique à Lingoni s'est donc faite en vase clos avec une forte natalité contrairement à la plaine de Pomoni où le mode de vie hérité se caractérise par une ouverture vis-à-vis des autres communautés. Ces dynamiques démographiques ont eu des effets sur l'évolution spatio-temporelle de l'occupation des sols dans les bassins versants.

³⁵ Dindri est une localité située dans la cuvette de Bambao Mtrouni à 6 km et Nord-Est de Lingoni

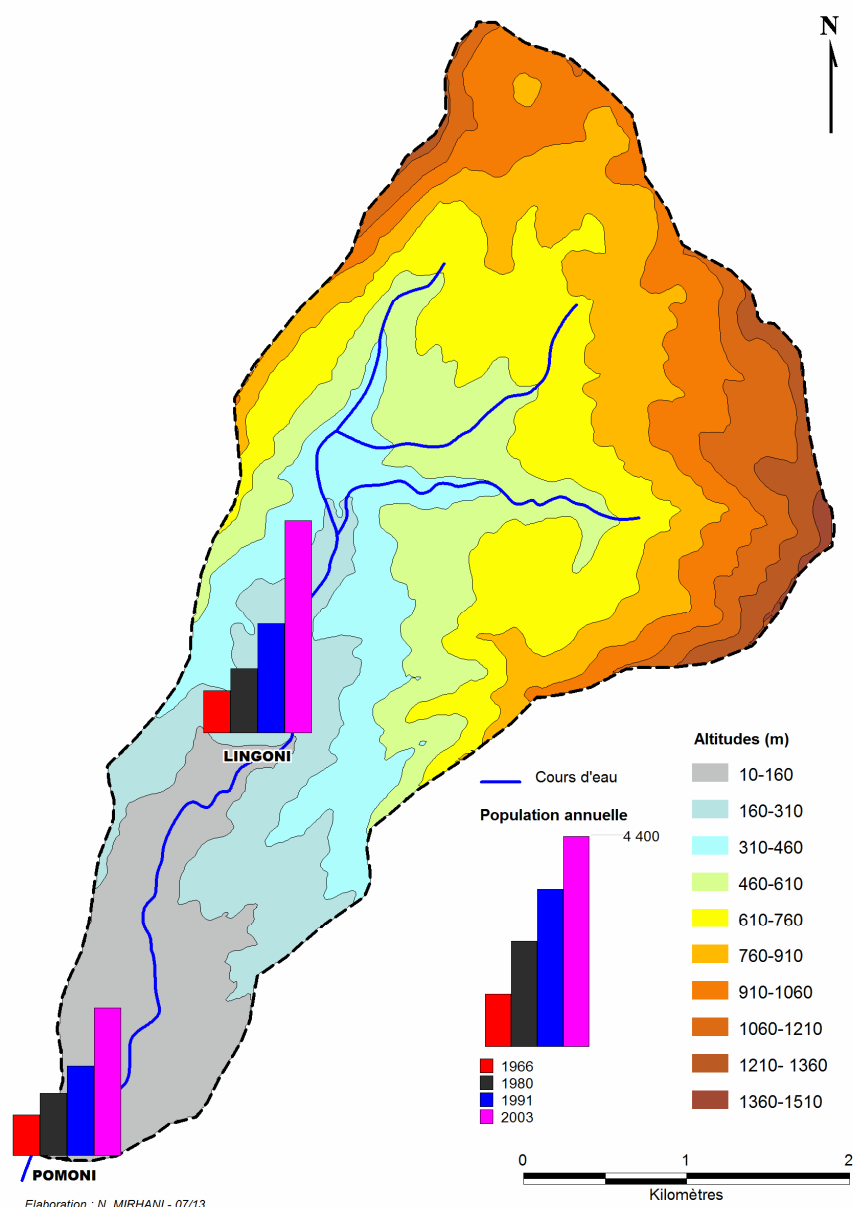


Figure 75- Répartition évolutive de la population dans le bassin versant Lingoni-Pomoni

IV.3- Les dynamiques d'évolution spatio-temporelle d'occupation des sols

Les changements d'occupation des sols ont été mis en évidence à partir des cartes topographiques de l'IGN éditées en 1955³⁶ puis en 1995, de celle de l'Inventaire Forestier National (IFN) de 2009³⁷ qui n'est pas encore officiellement publiée, et de photographies aériennes de 1950, 1969 et 1998 et d'images QuickBird de Google Earth de 2003, 2005 et 2013. La photo-interprétation a été complétée par des observations et un recueil de témoignages sur le terrain pour mieux décrypter la dynamique d'évolution spatio-temporelle

³⁶ La mission de photographies aériennes ayant servi pour cette première cartographie topographique a été effectuée en 1949 [AMIR, 2010]³⁶.

³⁷ La terminologie « forêt » légendée sur la carte regroupe les forêts humides sempervirentes primaires et secondaires et les cultures sous forêt.

d'occupation des sols. Nous analyserons la dynamique foncière pendant et après l'indépendance, l'urbanisation versus espaces agricoles, l'évolution de la couverture forestière, le cas particulier des girofliers et enfin le changement de modes d'utilisation des ressources.

IV.3.1- Le foncier entre dépossession et désordres socio-politiques

Se référant à l'histoire, les premiers habitants ont subi trois séries de spoliations foncières successives, d'une part, à l'arrivée des Arabo-chiraziens entre le XIII et le XVI^e siècle, d'autre part, au cours de la période sultanesque, et enfin au cours de la colonisation française qui a duré une centaine d'années [Mahamoudou, 2009]. Pendant la colonisation, l'appropriation des terres demeure, dans les régions et dans la mesure où elle n'a pas été confisquée par les entreprises de plantations, entre les mains de l'aristocratie urbaine [Robineau, 1966]. À cette époque, ce dernier explique que les villages qui constituaient 88 % de la population d'Anjouan détenaient seulement 26 % des terres et ce, dans un pays montagneux où abondent les terres absolument incultivables (sommets abrupts, gorges, pointes de l'île rocailleuses et desséchées). Les domaines de colonisation, des citadins non résidents et de l'Etat représentaient respectivement 27, 5 %, 23,5 % et 23 %. Ces dominations ont eu comme dénominateur commun, l'occupation des meilleures terres et le refoulement des premiers habitants vers les zones marginales [Mahamoudou, 2009]. Résultat des appropriations foncières pendant la période coloniale, l'île d'Anjouan était possédée aux deux tiers par des étrangers [Battistini & Verin, 1984].

Après l'indépendance de 1975, de nombreux événements socio-politiques ont influencé la dynamique démographique et migratoire des anjouanais. En 1976, l'île a reçu une vague de sa population de retour de Madagascar, conséquence d'une épuration à Majunga qui a coûté la vie à plus de 1000 comoriens. A cette ère post-coloniale, le pays est marqué par des coups d'Etat, une révolution socialiste, une descente des habitants vers les zones de basses altitudes et une reprise des plantations coloniales abandonnées. Les années 1990 sont celles de tous les maux ; les Comores entrent dans un processus de démocratisation qui s'était soldé par une « démo-anarchie » : accumulation des arriérés de salaires des fonctionnaires, retour au coup d'Etat de mercenaires, vague de soulèvement populaire, vente et occupation illégales des terrains concédés à l'Etat comorien après l'indépendance et déclenchement de la crise séparatiste en 1997 à Anjouan. Cette dernière s'est trouvée sous blocus de l'Union Africaine et de l'Etat comorien. Anjouan a par conséquent fait face à une crise économique et énergétique qui a favorisé l'extension des défrichements et l'exploitation du bois de la forêt.

Tous ces éléments étaient le déclic d'une recrudescence de la pression sur les terres agricoles et la forêt ainsi que ses ressources et cela, dans un contexte de croissance démographique.

IV.3.2- Une urbanisation versus espaces agricoles

A Anjouan, on a estimé que 78 à 79 localités existaient en 1955 dont 5 abandonnées après cette période. Ces localités se trouvaient en général sur des collines (Kondroni, Nangani, Moiou-Bouangassera, etc. au Nord) où l'accès à l'eau posait un problème. Les habitants ont effectué une descente vers les zones d'altitude inférieure à la moyenne insulaire, c'est-à-dire au-dessous de 418 m. Après 1955, plus de 20 autres localités ont été créées dont 60 % se localisent dans le domaine hydrologique de l'Est. Au total, l'île totalise actuellement 94 agglomérations réparties majoritairement en milieu littoral³⁸ ou le long des axes routiers et des cours d'eau. Les zones agricoles ont été directement colonisées par cette urbanisation croissante, contrairement à la forêt. Il n'y a pas eu de progression des bâtis vers le centre de l'île où le relief est montagneux, ce qui laisse apparaître un gradient d'anthropisation croissante du massif central vers les littoraux. Sur la pointe Nord et Ouest de l'île, l'extension des habitations est limitée par le manque d'eau. On y constate une absence de rivières d'autant plus que ces zones sont parmi les moins arrosées d'Anjouan. Dans l'extrême Sud, bien que les problèmes d'eau soient les plus récurrents de l'île, cela n'a pas empêché le développement des villages de Sadapoini et Hamchaco tournés vers le littoral (*figure 76*).

³⁸ Dans le dernier découpage administratif de 2011, on dénombre par contre 93 localités dans les 20 communes de l'île. Ce décalage est normal car notre démarche se focalise sur des informations cartographiques et non administratives. Par exemple, les villages de Moujimouvia et de Sangani ont été intégrés dans notre inventaire alors que sur le plan communal, ils sont considérés comme des quartiers de Pagé et Mutsamudu.

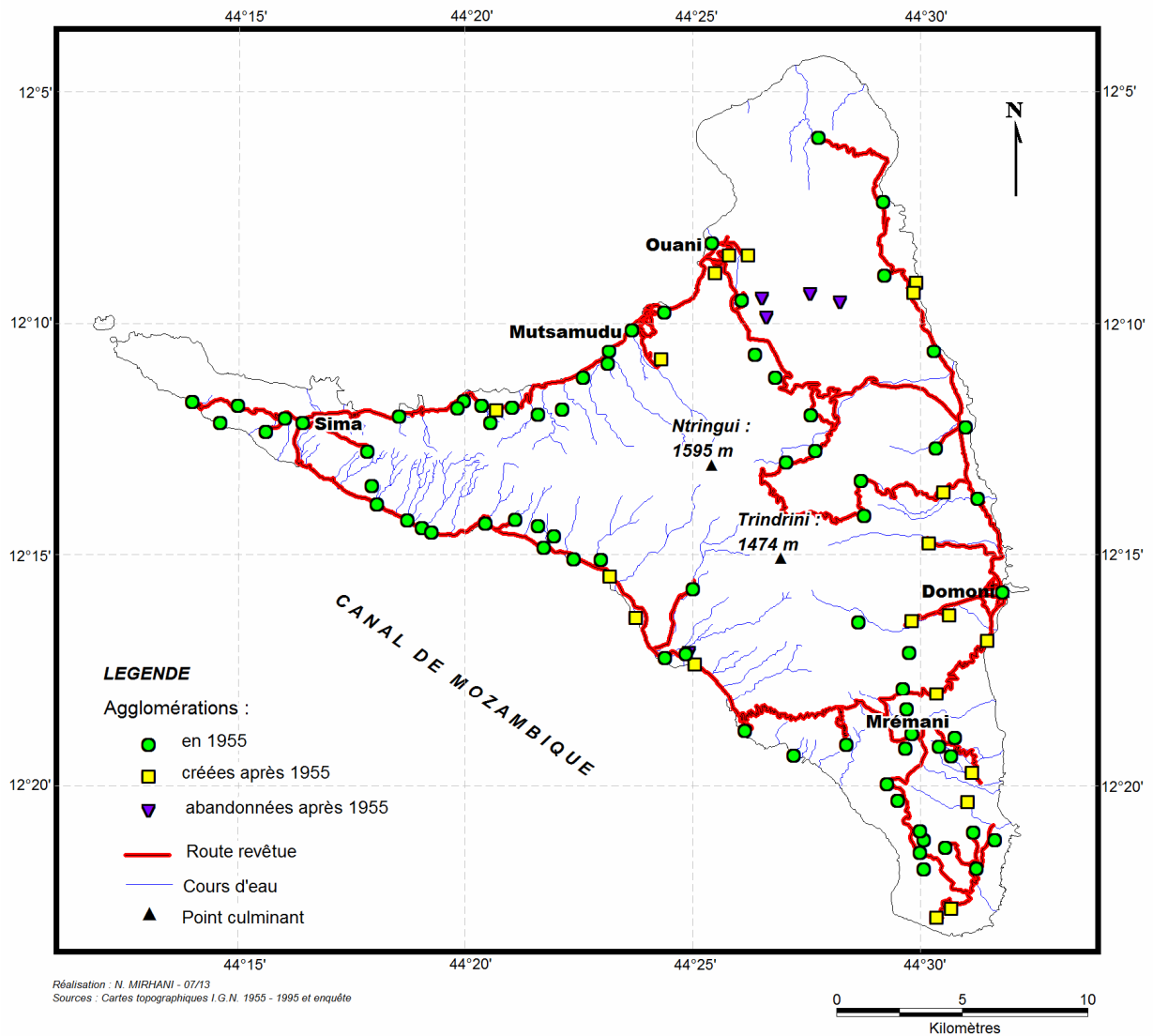


Figure 76- Evolution spatio-temporelle des habitations pendant et après 1955 à Anjouan

Dans le bassin versant Ouzini-Ajaho, la photo-interprétation de 1950, 1969 et 2010 montre un développement de trois villages à proximité de la rivière (*photos 44-45-46-47-48 & 49*). Ngandzalé a été fondé en période coloniale par des descendants d'Outsa cinq ans après le passage du cyclone de 1950. Salamani et Bweladungu ont été créés respectivement par des habitants d'Ouzini et de Hadda (le dernier village est situé hors du bassin versant) après l'indépendance de 1975. Mais, des témoignages montrent que les tentatives de la mise en place du village de Salamani auraient commencé en 1973.

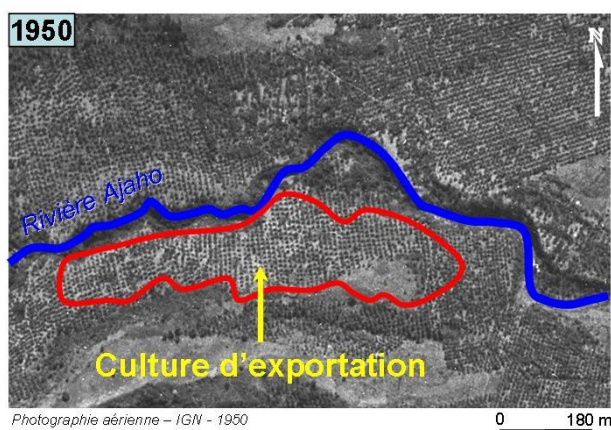


Photo 44- Des cultures d'exportation en 1950...

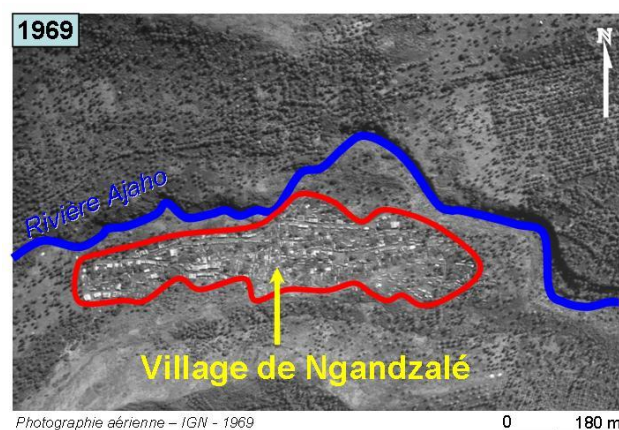


Photo 45- ...à la création du village de Ngandzalé en 1955

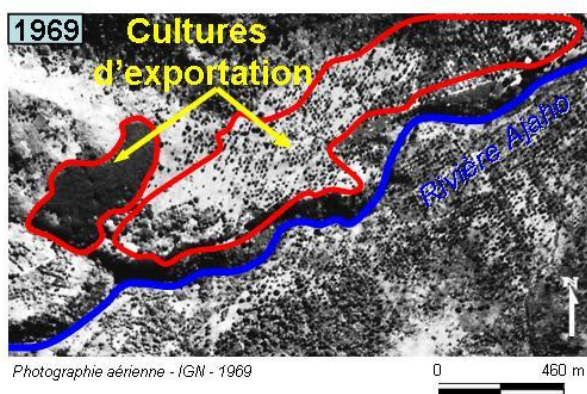


Photo 46- Des cultures d'exportation en 1969...

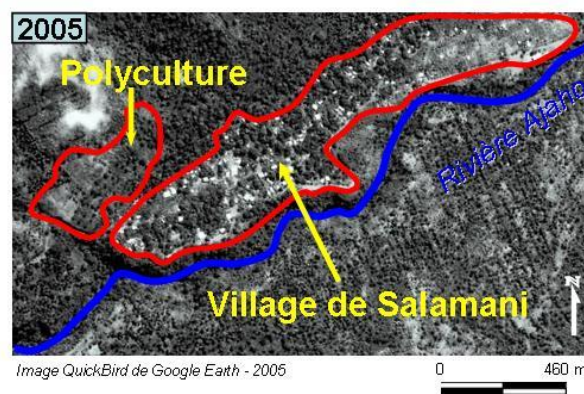


Photo 47- ...à la création du village de Salamani après l'indépendance de 1975

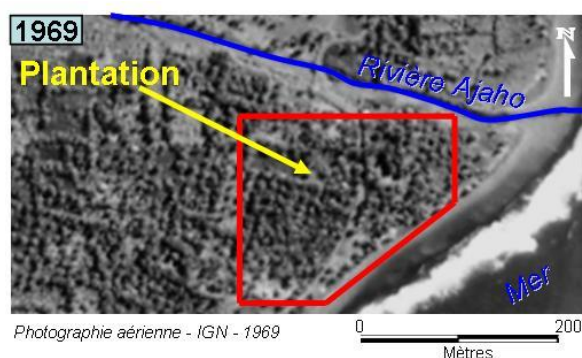


Photo 48- Des terres occupées par des cultures industrielles en 1969...

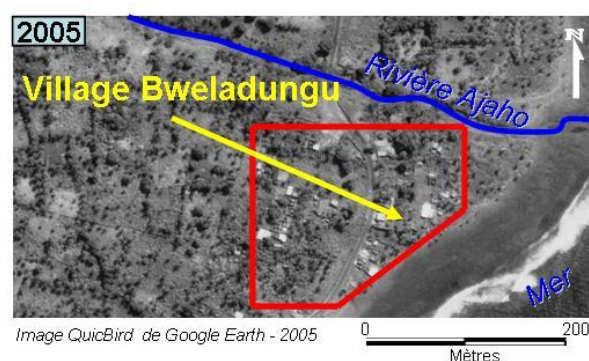


Photo 49- ... à la création du village de Bweladungu après l'indépendance de 1975

Outsa et Ouzini sont les localités les plus anciennes du bassin versant et fondatrices d'autres par la migration de leurs habitants. Cette situation a fait que leur étalement est négligeable par rapport à ceux des villages nouvellement créés : Ngandzalé, Salamani et Bweladungu. Si ces derniers ont occupé des terrains agricoles, les deux anciennes localités laissent supposer qu'elles ont été bâties sur des milieux antérieurement couverts de forêt

dense humide avant de connaître des changements d'emplacements. A Ouzini, les premières habitations ont vu le jour sur les collines de Lakany puis de Chongoju. Mais la difficulté d'accès à l'eau et l'exposition par rapport aux vents avaient contraint les habitants à se déplacer vers le fond plat du cirque nommé localement « *bandraju* » ; le hameau était implanté à cinq minutes de la rivière. Il a été complètement ravagé par des inondations et enseveli suite à des perturbations environnementales survenues à une période qui n'a pas pu être estimée par nos informateurs. Après l'abandon de cet emplacement, le village est pour la quatrième fois implanté dans le site actuel qui se trouve à 300 m de la rivière Havundrékuni. Quant au village d'Outsa, son premier emplacement a été également changé dans le but d'atteindre les terres en basse altitude. Tous ces anciens emplacements de hameaux sont actuellement, pour la plupart, mis en culture. Il s'agit ici de cas spécifiques car ce sont les villages qui continuent de s'étendre sur les terrains agricoles.

La descente d'une partie des populations des zones de montagne vers les localités moins altitudinales dont Ngandzalé, Salamani et Bweladungu a favorisé des processus d'urbanisation au détriment des plantations coloniales. Vanille, jasmin, ylang-ylang, coprah et giroflier étaient les principaux produits d'exportation observés par Robineau [1966] dans la firme d'Ajaho. Les terres nouvellement occupées étaient soit achetées aux firmes par l'« Etat comorien », soit rétrocédées par les sociétés coloniales suite à des réformes ou dépossédées par les paysans. Une telle évolution d'occupation du sol montre clairement que les plantations coloniales perdaient progressivement leur superficie avant même l'indépendance, un cas valable partout dans l'île.

Dans le bassin versant Lingoni-Pomoni, le village de Lingoni était à l'état embryonnaire dans les années 1950 comparativement en 1969 où son noyau apparaît clairement structuré sur la photographie aérienne (*photo 50*). La société de plantation avait accordée un lopin de terre aux travailleurs pour s'installer puisqu'ils devaient parcourir quotidiennement plus de six kilomètres à pied depuis Dindri pour se rendre à Pomoni. Vers le Sud, son extension était limitée par des plantations. Par contre elle s'est faite en direction Nord-Ouest et Nord-Est respectivement jusqu'au pied d'un versant et rebord de la vallée du petit fleuve Pomoni. 21 ans après l'indépendance, la structure du paysage agricole a changé entre 1969 et 1998. La monoculture d'exportation a été remplacée par la polyculture locale. Aussi, le village de Lingoni a-t-il connu un étalement vers le Sud à la place de ces mêmes cultures en réponse à la croissance démographique. Encore, plus vers le Sud, des hameaux commençaient à se développer pour donner un second village baptisé Mayindrini, fondé par des natifs de Lingoni

(photo 51). En 2013, le village a connu une extension avec une forte densification vers les basses altitudes (photo 52).

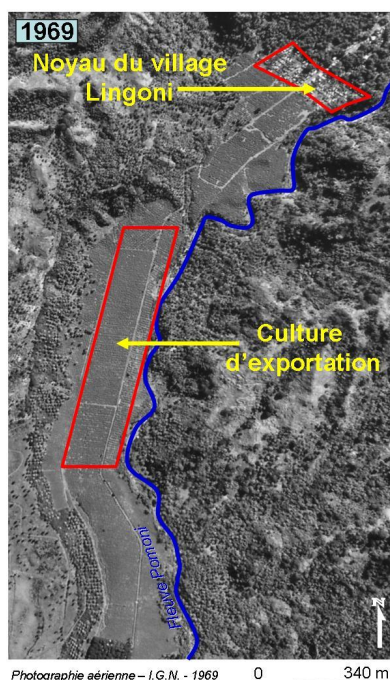


Photo 50- Lingoni en 1969 : une mono-culture dominante

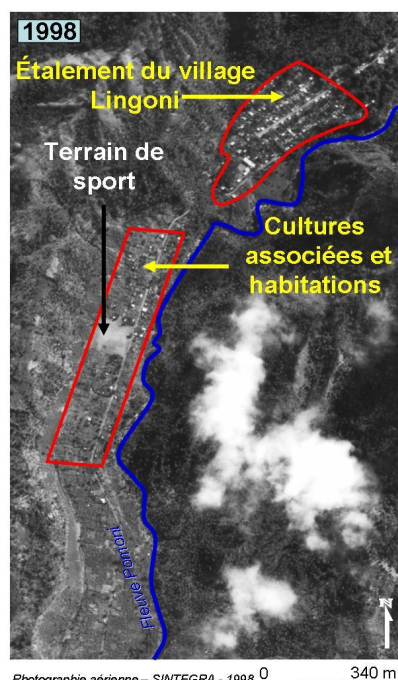


Photo 51- Lingoni en 1998 : un recul des espaces culturels au profit des habitations

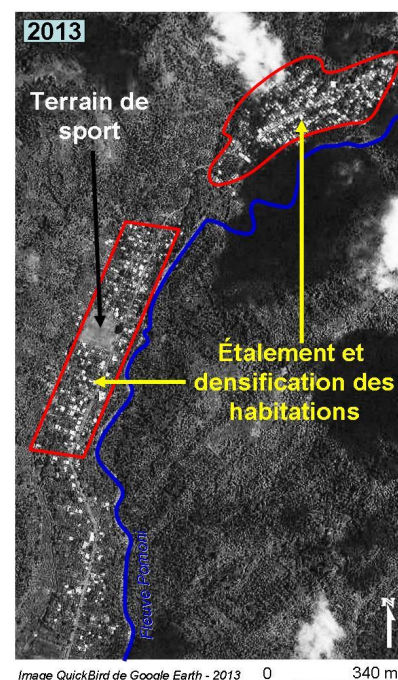


Photo 52- Lingoni en 2013 : une densification et un étalement urbain

A travers les photographies aériennes de 1969, 1998 et 2013, on remarque que l'extension des bâtis à Lingoni tend vers la plaine où se trouvent les anciennes installations industrielles. Cette avancée vers le littoral alimente parfois les disputes foncières entre les habitants de Lingoni et de Pomoni.

Sur la plaine de Pomoni, la monoculture industrielle entourait l'usine de transformation en 1950. Un autre type de végétation ligneuse mais plus développée dominait quelques bâtis bien structurés dans un terroir d'environ 8 ha (photo 53). En 1969, l'usine était toujours opérationnelle mais le paysage agraire a connu une mutation très remarquable. Comme à Lingoni, des cultures associées sont apparues à la place de la monoculture de la Société Coloniale de Bambao. Le futur village de Pomoni s'est étalé vers l'Ouest pendant qu'un hameau s'est progressivement développé pour former le noyau du village de Nindri à l'Est. Au fil du temps, ces habitations se densifient (photos 54 & 55).

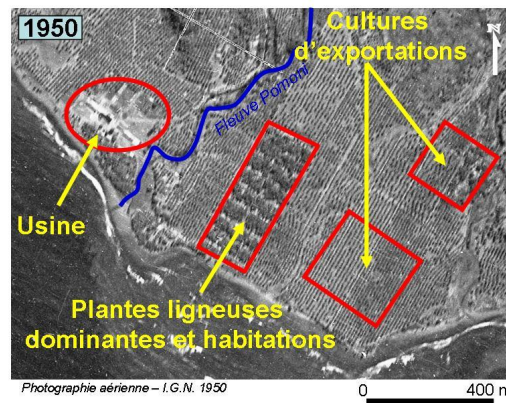


Photo 53- Pomoni en 1950 : des cultures d'exportation dominant les habitations

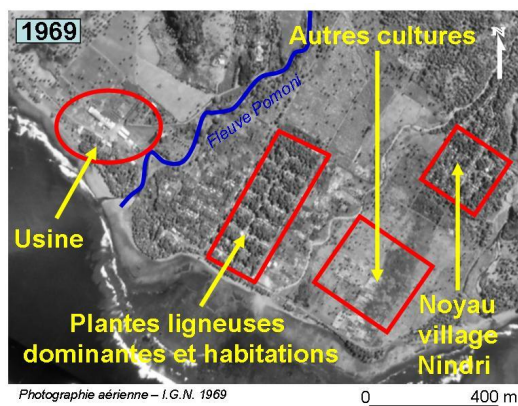


Photo 54- Pomoni en 1969 : un recul des cultures d'exportation

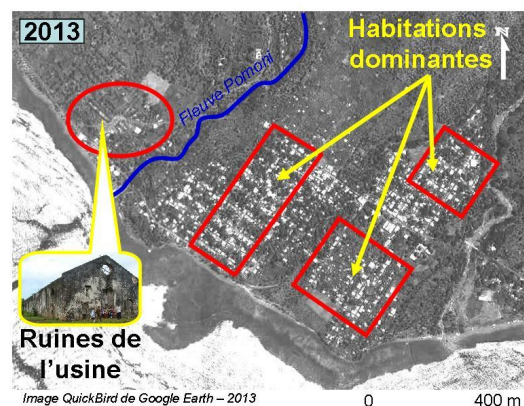


Photo 55- Pomoni en 2003 : un étalement des habitations face aux cultures

Au cours du XIXe siècle jusqu'à l'indépendance, les premières plantations du domaine de Pomoni étaient des sucrières ; sont venues par la suite les plantes à parfum dont la citronnelle, le bigaradier, le basilic, l'ylang-ylang, le giroflier, etc. La cocoteraie occupait presque le littoral pour la production du coprah. Les cultures vivrières traditionnelles ont été pratiquées mais à une échelle limitée. Actuellement devenus témoins d'un passé colonial et source de revenus, le giroflier et l'ylang-ylang sont omniprésents même sur les paysages agraires en pleine mutation. Les pratiques maraîchères (tomate, oignon, laitue, etc.), faisant appel à des engrais chimiques et insecticides, deviennent de plus en plus remarquables.

Bref, tous les changements d'occupation des sols survenus dans les bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni avant l'indépendance de 1975 sont les résultats d'une cession foncière par la Société Coloniale de Bambao au profit de certaines localités comme Pomoni. La quasi-totalité des terrains cédés à l'Etat et ceux restant en possession de la Société était squattée en 1989 [Hassani-El-Barwane, 2010]. De nombreux paysans ont su profiter de l'instabilité politique relative à l'assassinat du président Ahmed Abdallah pour s'accaparer

les terrains cédés par la firme coloniale. Depuis, le développement ou l'étalement des habitations s'est fait au détriment des cultures industrielles (basilic, jasmin, etc.) et vivrières qui, à leur tour, grignotent les espaces forestiers.

IV.3.3- Des forêts en recul

De l'échelle insulaire aux domaines hydrologiques (tableau 18 & figure 77)

La forêt qui devait naturellement couvrir de grands espaces continus et jusqu'à basse altitude sur les façades les plus arrosées, est actuellement réduite à des massifs forestiers isolés, parfois fragmentés, dans les zones les plus inaccessibles pour les populations humaines, soit en altitude soit sur les plus fortes pentes [Labat *et al.*, 2006]. Sa superficie est passée de 133 km² à 42 km² entre 1955 et 2009. 91 km² de la couverture forestière a disparu au rythme de 1,7 km²/an en l'espace de 54 ans. En d'autres termes, la forêt couvrait 31 % de l'île en 1955 contre 10 % en 2009.

Suivant les quatre grandes divisions hydrologiques d'Anjouan, les vestiges les plus importants de la forêt dense humide se localisent actuellement dans le domaine Sud-Ouest de l'île. Sur cette étendue de 129 km², elle en couvre seulement 22 % correspondant à 28,4 km². Au Nord-Ouest et à l'Est, s'observent des lambeaux forestiers qui ne s'étendent respectivement que sur 6 % et 5 % de la superficie de ces deux domaines. Au Nord par contre, les reliques forestières cantonnées sur les versants littoraux et vallicoles en 1955 n'ont pas résisté à l'anthropisation. Ce domaine fait partie de ceux de l'île dont le sol a le plus perdu ces aptitudes culturelles et a été transformé en bad-lands suite aux érosions.

Tableau 18- Evolution de la couverture forestière dans les quatre domaines hydrologiques d'Anjouan

Domaines hydrologiques d'Anjouan		Superficie forestière			
		En 1955		En 2009	
Position géographique	Superficie km ²	km ²	%	km ²	%
SUD-OUEST	129	54	42	28	22
NORD-OUEST	100	29	29	6	6
EST	171	45	26	8	5
NORD	24	5	21	0	0
Total	424	133		42	

En général, dans les trois presqu'îles d'Anjouan (Sima, Jimlimé et Mrémani), des lambeaux de forêts sèches ayant existé en 1955 ne sont pas observés actuellement. Comme

dans de nombreuses îles de l'Océan Indien, ce type de végétation des zones climatiques sèches de basse altitude a pratiquement disparu, soit remplacé par des espaces agricoles (en particulier les cocoteraies) ou des zones urbaines, soit radicalement secondarisé et formant un fourré appauvri, souvent ouvert et formant des savanes arbustives [Labat *et al.*, 2006]. Les deux traits marquants sont le recul de la forêt et la progression des cultures vivrières associées à un couvert arboré [AHT, 1987].

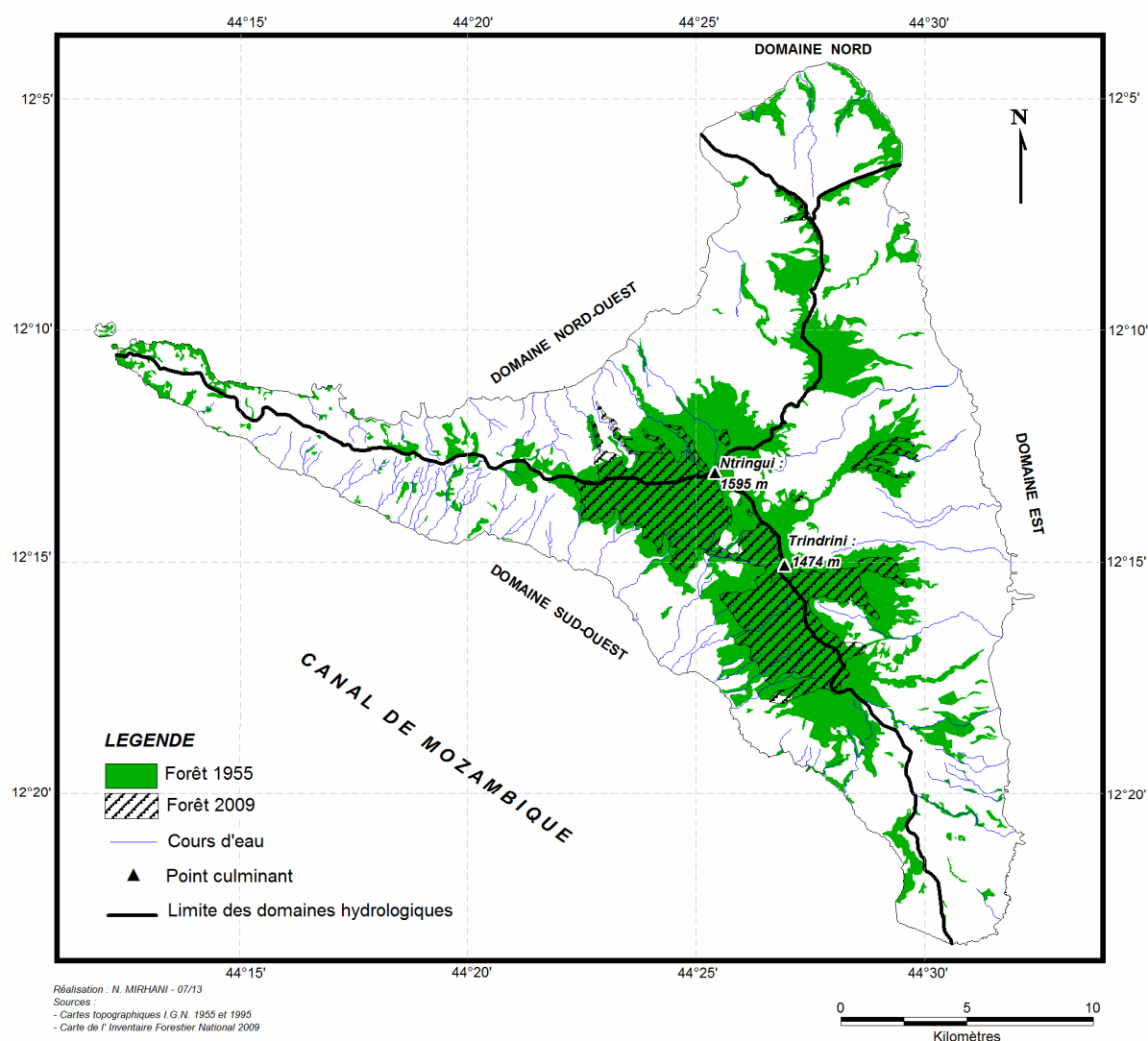


Figure 77- La couverture forestière d'Anjouan en 1955 et 2009

L'augmentation des bâtis au détriment des espaces agricoles a poussé de nombreux agriculteurs à défricher davantage la forêt. Ces défrichements compensatoires se font en progression vers les zones altitudinales et/ou de plus en plus pentues pour accroître la production agricole. Or, la superficie maximale de sols cultivables n'est que de 270 km² [Tricart & Kilian, 1979], soit une couverture de 63,6 % de l'île. Avec l'augmentation de la population surtout en milieu rural, ces sols cultivables connaissent une densification

croissante d'une façon linéaire : 223,4 hab/km² en 1951³⁹ contre 310, 5 hab/km² en 1966 et 902,7 hab/km² en 2003 (*figure 78*). A Mohéli et en Grande-Comore où la pression sur la forêt est faible par rapport à Anjouan, les densités respectives sont de l'ordre de 188,1 hab/km² et 583 hab/km² de sols cultivables en 2003⁴⁰. A travers ces données, on remarque bien que le nombre d'habitants par km² de terres cultivables à Mohéli en 2003 reste inférieur à celui qu'Anjouan a enregistré en 1951.

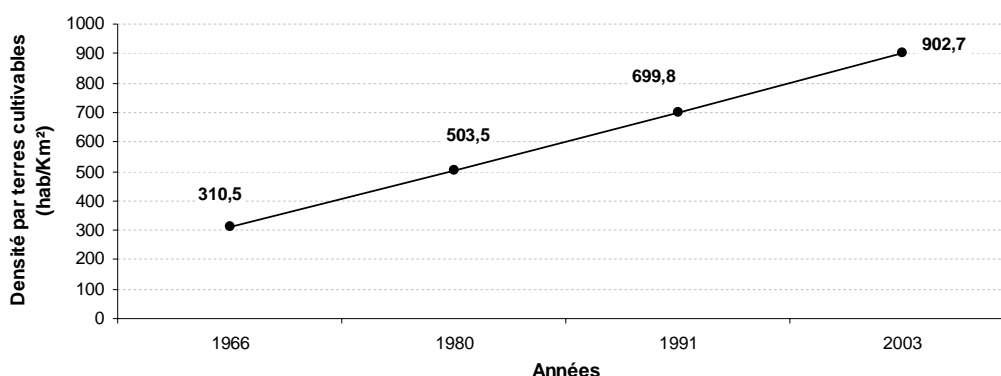


Figure 78- Evolution de la densité de la population d'Anjouan par terres cultivables

Les bassins versants

Généralisée à l'échelle insulaire et des domaines hydrologiques, la diminution progressive de la couverture forestière au profit de l'agriculture se confirme dans les bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni. En détail, les lisières ont reculé face aux bananeraies associées au taro (*photo 56*). Les superficies de clairières ont augmenté à l'intérieur des massifs forestiers (*photo 57*) pendant que quelques rares jachères se sont reconstituées en forêt secondaire. Les structures verticale et horizontale de la forêt sont, par endroit, perturbées. Il est difficile de distinguer les différentes strates. Aussi, la densité des essences a-t-elle considérablement diminuée comme le montre l'imagerie de 1969 et 2003 de la forêt en bordure du lac Dzilandzé en amont du bassin versant Lingoni-Pomoni (*photos 58 & 59*).

³⁹ Le nombre d'habitants était de 60 327 en 1951, si l'on se réfère à un recensement administratif cité par Robineau [1966]

⁴⁰ Les superficies de terres cultivables ont été estimées par Tricart et Kilian [1979] : 190 km² à Mohéli et 508 km² en Gande-Comore

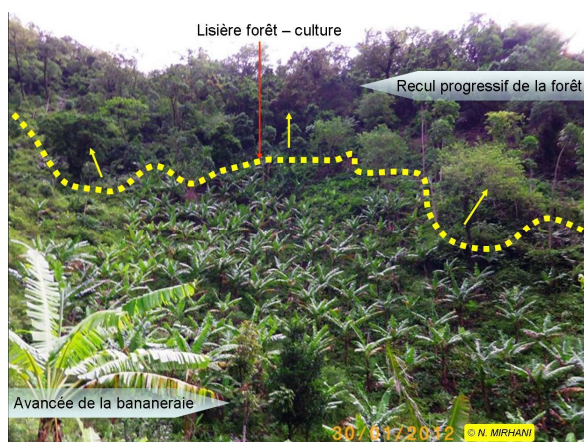


Photo 56- Couverture forestière en recul face aux besoins en terres agricoles sur les versants



Photo 57- Ouverture d'une clairière et mise en culture à plus de 1000 m d'altitude

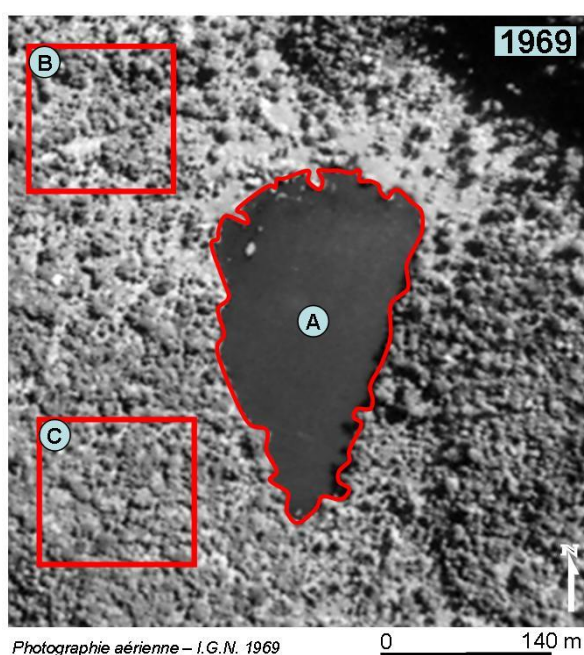


Photo 58- Situation de 1969 : le lac Dzilandzé et son environnement dans le bassin versant Lingoni-Pomoni

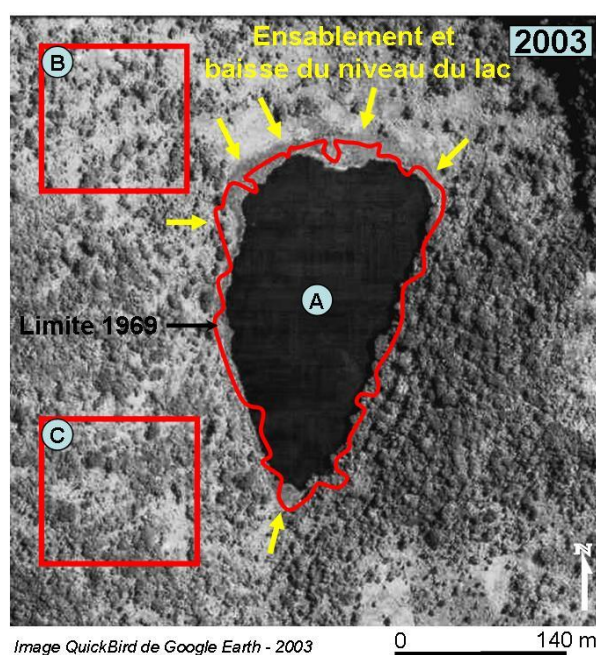


Photo 59- Situation de 2003 : déforestation, ensablement et baisse du niveau du lac Dzilandzé dans le bassin versant Lingoni-Pomoni

Le lac Dzilandzé était entouré d'une forêt dense humide. Seule la rive Nord était en partie défrichée en 1969. Quand nous sommes arrivé en 2003, en pleine crise séparatiste, Dzilandzé a subi l'assaut d'une partie des paysans de Dindi, un village situé à 2,5 km au Nord-Ouest du lac. Les rives ont été investies par les maraîchages et les défrichements au profit des cultures ont connu une extension sur les versants Est surplombant le Dzilandzé (*photos 58C & 59C*). Des essences qui protégeaient ou fixaient le sol ont été ainsi éliminées dans ce milieu fortement pluvieux. Le Nord du lac a ainsi subi un ensablement significatif qui s'est accompagné d'une baisse de niveau des eaux. Le phénomène tend à évoluer également

vers le Sud, voire d'Est en Ouest et du Sud au Nord du lac. En général, les rives ayant vu leur couverture forestière délabrée sont en première ligne face à l'ensablement. Or, comme nous l'avons évoqué plus haut, le Dzialandzé est l'un de grands réservoirs d'eau qui alimenterait les cours d'eau les plus importants d'Anjouan dont Trantringa et Pomoni. Le processus de sédimentation en cours peut à long terme avec d'autres facteurs du milieu mettre en danger la pérennité d'écoulements de ces cours d'eau.

IV.3.4- Le cas particulier des girofliers

Comparativement à l'occupation du sol de 1969, l'imagerie de 2005 montre une augmentation de la densité des ligneux qui donne l'impression d'une régénération forestière sur une partie du bassin versant à Ouzini (*photos 60 & 61*). En réalité, cela ne peut être autre que des plantes introduites et plus particulièrement des girofliers (*photo 62*) qui n'ont rien à voir avec des essences forestières. Cette espèce a connu une extension progressive dans le bassin versant Ouzini-Ajaho en période coloniale afin de reconstituer l'économie des plantations affectée par le cyclone de 1950. Suite à une réforme agraire, les paysans ont été autorisés à devenir producteurs pendant que les sociétés coloniales et les négociants indiens détenaient le monopole de l'exportation des produits. Un administrateur colonial avait de ce fait encouragé la plantation des girofliers. Au début, bien que les paysans de la zone aient été réticents à l'idée d'introduire les girofliers dans leurs parcelles, la progression de la monétarisation des sociétés rurales et la forte demande en produits d'exportation (girofles et ylang-ylang) les a finalement encouragés. Après l'indépendance de 1975, les girofliers ont connu une forte extension au détriment des cultures traditionnelles dans les terroirs paysans. Motivée par des enjeux économiques, cette extension se poursuit bien que le prix du girofle soit fixé selon la variation des cours ainsi que de l'offre et de la demande sur le marché mondial. Il avait atteint sa valeur la plus basse dans les années 1990, soit 100 Fc (0,20 €) selon notre enquête. Des paysans désespérés avaient abattus de nombreux girofliers. Mais à partir de ces dix dernières années, le coût au producteur a de nouveau augmenté, il fluctue entre 4000 Fc (8 €) et 2000 Fc (4 €)/kg contre environ 15 Fc le kg dans les années 1960. La production est passée de 58 tonnes en 1960 [Robineau, 1966] à 21 643 tonnes en 2004 [CGP, 2004]⁴¹. Cet héritage colonial constitue l'un de principaux produits d'exportation pourvoyeur en devises d'Anjouan qui est la première productrice de l'archipel. Derrière cette potentialité économique, la question de l'impact des girofliers sur les écoulements hydriques n'a pas été

⁴¹ CGP : Commissariat Général au Plan

réellement posée. Or, à notre état de connaissance, cette espèce allochtone, forte consommatrice d'eau, pompe les écoulements sub-surfaciques, voire la nappe phréatique.

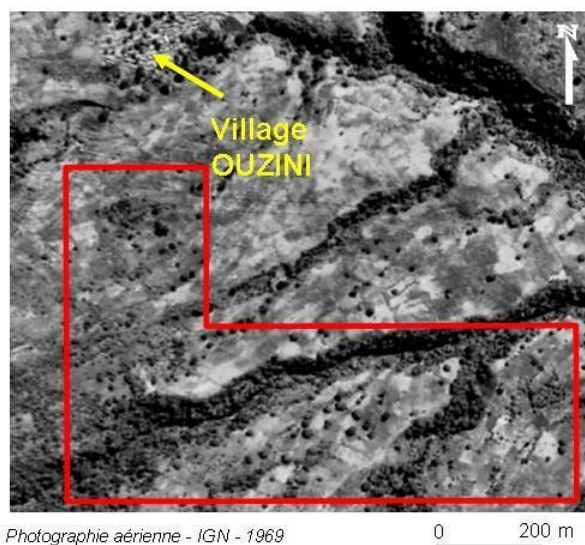


Photo 60- Ouzini en 1969 : une faible densité ligneuse dans les zones culturales

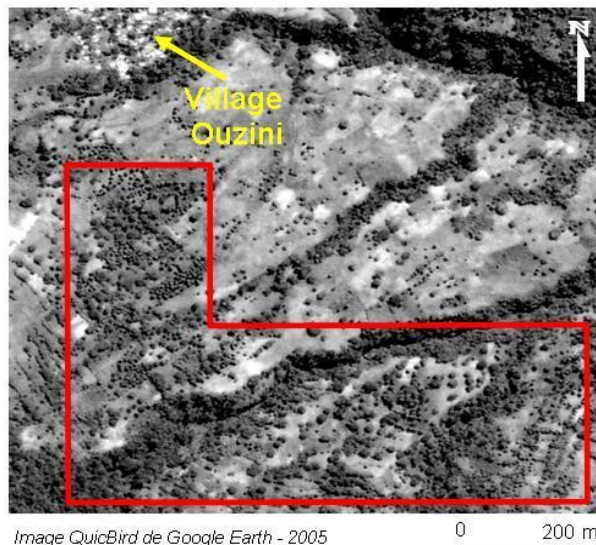


Photo 61- Ouzini en 2005 : une forte extension des arbres allochtones à dominance girofliers



Photo 62- Un peuplement de girofliers en amont du bassin versant Ouzini-Ajaho

Dans certains cas, les modifications dans l'utilisation des terres se répercutent sur le régime hydrologique d'un bassin fluvial ; ainsi, l'abattage d'une forêt a une incidence directe sur le taux d'infiltration et la réalimentation des aquifères [FAO, 2008]. L'étalement urbain, par l'accroissement des surfaces imperméabilisées, réduit la capacité d'infiltration des eaux de pluies et favorise le ruissellement [Germaine, 2009]. Le tassement du sol le long des pistes favorise la formation de ravines et concentrent les ruissellements, contribuant à l'alimentation des crues.

IV.4- Un changement de mode d'utilisation des ressources

IV.4.1- L'exploitation des essences forestières

Partout dans l'archipel, les essences forestières sont exploitées pour la construction et la menuiserie. Les coupes de bois pour les constructions en végétal⁴² et à la chaux avec plafond au support en poutre remontent à très longtemps. Au fil des années, il y a eu une transition des constructions en végétal vers celles en ciment. Les chandelles en bois (diamètre avoisinant 10 cm) utilisées auparavant pour maintenir temporairement les toitures en béton sont progressivement remplacées par celles en fer. Cette transition paraît réduire la pression sur la forêt du moins dans les localités désenclavées mais l'extension des bâtis et l'exploitation du bois pour la fabrication des planches constituent une autre préoccupation.

A l'échelle des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni, on observe différentes catégories de constructions consommatrices de bois : clôtures, habitat en végétal (bois et feuilles de cocotier ou chaume), terre battue, tôles et ciment ou associé. Nous avons précédemment vu que les bâtis continuent de s'étaler et de se densifier. Devant cette nécessité de construire, la coupe de bois en forêt se poursuit démesurément. La capacité de régénération des essences et leur densité diminuent en conséquence. Ce problème est renforcé par la très faible régénération par rejets de souches après abattage d'une essence ; ce qui est caractéristique des forêts denses humides. Ici, la régénération se fait généralement par semis naturel.

Ciblées en fonction de leurs degrés de résistance à l'humidité et aux termites, les espèces usuellement destinées à la construction et à la menuiserie ont vu leur fréquence diminuer dans la forêt. *Khaya comorensis* (*Mtrondro*), *Weinmannia comorensis* (*Mtringutrigu*) et *Ocotea comorensis* (*Mrebwé*) sont parmi les essences endémiques les plus exploitées et par conséquent répertoriées pour la première fois comme espèces rares aux Comores par Paris [1999]. Les résultats de l'étude sur la vulnérabilité des espèces d'utilité socio-économique sont présentés au chapitre VI (*cf.* VI.2). Les observations du terrain montrent que leur exploitation s'est faite à une vitesse plus rapide que celle de leur régénération. Les régénérés (gaulettes) ($\varnothing < 10$ cm) sont plus sollicités que les semenciers ($\varnothing > 10$ cm) dans la construction de l'habitat et des clôtures. Une case à base de végétal de quatre mètres sur trois exige au moins la coupe de 158 gaulettes ($\varnothing = 2,5 - 5$ cm, hauteur = 2 - 4 m) et 13 bois ronds

⁴² Les photographies des années 1800 illustrent l'abondance des cases en végétal à Anjouan. Elles sont archivées dans : http://anom.archivesnationales.culture.gouv.fr/sdx/ulyse/resultats?qid=sdx_q0&p=16

($\varnothing = 8 - 10$ cm, hauteur = 1- 5m) ; ce qui correspond à un prélèvement de $0,79 \text{ m}^3$ de bois en forêt. Une bonne clôture de 2,5 m de hauteur et de 20 m de long sur 20 m de large nécessite 850 bois de diamètre compris entre 5 et 7 cm. Le volume de bois nécessaire est de $3,06 \text{ m}^3$ [Mirhani, 2007]. La quantité de gaulettes abattues couvre des arbustes et de jeunes arbres qui constituent le potentiel de reconstitution de la forêt.

Il est clair que l'exploitation du bois à Anjouan est négligeable par rapport à la demande insulaire qui est tributaire des importations. Cependant, le passage de l'usage de la hache ou de la scie manuelle à la tronçonneuse à partir des années 2000 a accentué l'abattage des arbres ; les plus résistants aux coups de la hache sont facilement débités avec un minimum d'énergie pour un temps réduit. Le long des itinéraires traversant les forêts et les rives des cours d'eau, les traces laissées par les tronçonneuses sont remarquables. Suivant le trajet de Salamani à Ouzini dans le bassin versant Ouzini-Ajaho, la fréquence d'observer des amas de bois débités, quelle que soit la nature, s'élevait à neuf en décembre 2010. Plus en amont à Ouzini, le long des rives immédiates de la rivière Havundrékuni, elle est estimée à quatre sur une distance de 2,5 km. Parmi les espèces tronçonnées identifiées, figurent *Nuxia pseudodenta*, *Weinmannia comoriensis* et *Ficus sp.*

Le degré de déséquilibre engendré par l'abattage de bois que subit la forêt n'est pas encore documenté. Mais on confirme seulement que ces coupes ne sont pas compensées par des actions de restauration et que des essences forestières supposées maintenir les écoulements ou stabiliser le sol ou abriter une faune sauvage ont été éliminées. Préoccupée par la situation en 2012, la Direction de l'Environnement et des Forêts d'Anjouan avait tenté en 2013 de répertorier les tronçonneuses et leurs utilisateurs mais l'opération s'est soldée par un échec. Jusqu'à présent, l'utilisation de tronçonneuse n'est pas réglementée.

IV.4.2- Une extraction de granulats marin et alluvial

Au début, l'extraction du sable et du gravier se faisait sur les côtes littorales d'Anjouan. Mais avec les nouvelles constructions ou l'étalement urbain, la demande en granulats a fortement augmenté. La pression s'est accrue sur de nombreuses plages dont Pomoni, Bwéladungu, Chiconi, etc. « En novembre 2009, on a évalué à environ $14\,000 \text{ m}^3$ le volume de matériaux extrait sur le littoral d'Anjouan. En 1997, ces prélèvements avaient été estimés à $9\,000 \text{ m}^3$ (PRE-COI/UE, 1997) » [Sinane et al., 2010].

Dans les sites intensément investis, la ressource s'épuise laissant apparaître de gros galets en surface. Les rivages s'érodent sous l'effet des vagues entraînant l'écroulement des digues ainsi que des routes (figures 63 & 64). Mais cette dégradation n'est pas la seule œuvre

des extracteurs du granulat puisque certains des ouvrages sont très anciens et vétustes ou construits dans des conditions inadaptées et précaires. Aussi, avec le réchauffement climatique, craignons-nous une intensification des dégâts (érosion du littoral, rupture des digues et des routes, etc.) liée à la montée du niveau de la mer. Celle-ci est estimée à 4 mm/an et atteindra 20 - 22 cm à l'horizon 2050 aux Comores selon la DGE [2002]. Les risques d'inondations vont croître de même sur les petites plaines littorales à l'interface mer/cours d'eau. Pomoni fait partie des plaines les plus vulnérables vu la présence des marécages et le faible niveau de la nappe alluviale côtière.

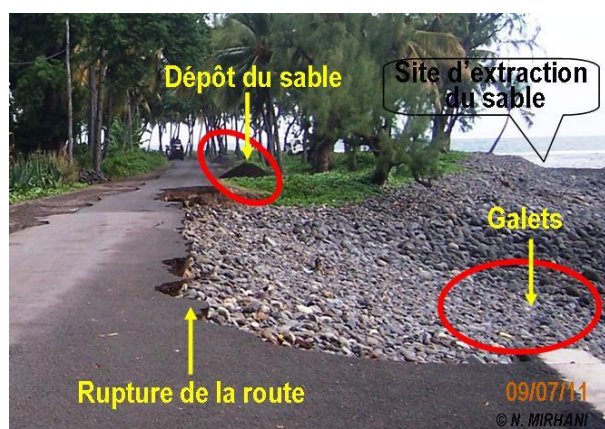


Photo 63- Apparition des galets et rupture de la route près d'un site d'extraction de sable marin à Pomoni



Photo 64- Remontée du sable et dégradation continue de la route après abandon d'extraction du sable

Depuis 1995, les Autorités tentent de renverser les tendances à la dégradation de la côte et des infrastructures littorales. La Loi N°95-007 relative à l'Environnement a été promulguée. Son Article 32 interdit strictement le prélèvement de matériaux du rivage de la mer. Faute de surveillance, l'extraction du granulat s'est étendue jusqu'au long des chenaux des cours d'eau où l'activité s'est intensifiée. Dans les sections où le lit est temporairement à sec et/ou le cours a dévié de son chenal principal pendant la crue, le sable charrié est récupéré après la décrue.

D'Ouzini à Salamani vers le littoral à Bwelandungu, comme à Lingoni vers la plaine de Pomoni, l'extraction du sable constitue une activité temporaire pour certains et un métier de survie pour d'autres. D'après Sinane *et al.* [2012], elle est rarement une mono-activité ; il s'agit plutôt d'un complément de revenus pour des pluriactifs dont une majorité d'agriculteurs. A Ouzini par exemple, les habitants sont majoritairement agriculteurs et la collecte du sable alluvial pour la vente n'est qu'occasionnelle. Elle n'est fréquente que lors des constructions d'intérêts communautaires (mosquée, bassin de rétention d'eau, école, etc.) et parfois personnels. L'enclavement du village constitue un obstacle au développement de ce métier : difficulté d'exporter le granulat pour la vente et d'importer le ciment pour la construction. Par contre à Salamani, l'extraction du sable et des galets sur le lit de la rivière est fréquente (*photo*

65) et avait atteint le degré le plus élevé après les crues historiques provoquées par les pluies diluviennes du 18 avril 2012. Mais c'est vers l'embouchure de la rivière Havundrékunu-Ajaho à Bwéladungu qu'elle constitue un véritable métier de survie. Celui-ci est favorisé par la facilité d'accès au site par les camions et l'importance des apports en sable à la fois marins et alluviaux. A Lingoni, un barrage de la centrale hydroélectrique contribue à la rétention d'une quantité importante de sable alluvial qui est par la suite amassé (*photo 66*) pour être acheminé par camion vers des sites de construction.



Photo 65- Sable extrait du lit de la rivière Ajaho à Salamani



Photo 66- Sable et gros galets extraits du lit du petit fleuve Lingoni-Pomoni

Dans les sections des cours d'eau désensablés, on observe un abaissement du lit. Le rythme de désensablement ne permet pas à ce dernier de s'auto-restaurer. Au contraire, il accélère la modification de la structure du chenal et des berges dans un équilibre déjà précaire. Les prélèvements excessifs du granulat alluvial de l'amont en aval dérèglent les paramètres hydrodynamiques et morphodynamiques naturels du chenal et le processus de la phytostabilisation des berges. Il s'agit ici d'un constat, mais aucune étude n'a été faite pour comprendre le processus en cours afin d'anticiper les risques environnementaux. Or, la pression sur la ressource s'intensifie en dépit de la Décision N°10/002/ de janvier 2010 interdisant d'une manière absolue l'extraction du sable sur l'ensemble du territoire de l'Île Autonome d'Anjouan. Il faut toutefois noter que la résolution du problème ne passe pas par une interdiction totale de l'activité. Un lit obstrué de sable ou de troncs d'arbres ne favorise pas un meilleur écoulement des cours d'eau et peut contraindre les crues à sortir de leur chenal principal et provoquer des dégâts sur les cultures et les infrastructures⁴³ et au final favoriser les sous-écoulements en période d'étiage.

⁴³ Le cas le plus récent date du 13 avril 2013 dans la localité de Mirontsy où les crues de la rivière Mavoulé avaient dépassées le pont. Caniveaux fortement ensablés, habitations du littoral inondées et parcelles agricoles perdues, tels étaient les impacts observés.

Le développement des entreprises de concassage qui devrait constituer une alternative aux problèmes d'extraction du sable marin et alluvial n'a résolu le problème que partiellement. Le coût du sable concassé s'est avéré cher par rapport au sable marin et alluvial, soit 45 000 Fc (91 €) contre 30 000 Fc (61 €) pour un camion de 3 m³.

IV.4.3- Des captages de type gravitaire ayant des impacts sur l'hydrographie

Aux problèmes de prélèvements de granulat alluvial, viennent s'ajouter ceux d'aménagement pour le captage des eaux courantes de surface et des sources dans les bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni. Un important réseau d'adduction y a été développé en période coloniale pour l'alimentation des firmes industrielles.

En amont, le bassin versant Ouzini-Ajaho compte deux captages, le premier qui exploite la source de Magouni date des années 1960, période pendant laquelle n'existait pas le village de Salamani. Le second qui est le plus important concerne la source de Hagobi. Il a été construit dans les années 1980 pour pallier au déficit en eau en période sèche ou de *Chilimo* ou (août à novembre). Leur débit approximatif est respectivement de 0,4 l/s et 1,7 l/s à la fin de la période sèche selon Astudillo [2012]. Sans préciser la date des observations, Marini [1990] avait estimé le débit de la source de Hagobi supérieur à 30 m³/h (8,3 l/s). Quelle que soit la période pendant laquelle les deux auteurs ont mesuré les débits, la différence est très nette entre 2012 et 1990, soit 6,61 l/s.

A partir des captages de Magouni et Hagobi, les eaux sont drainées vers un bassin de stockage pour le ravitaillement des villages d'Ouzini et Salamani. En revanche, le débit reste toujours insuffisant pour une extension de réseau d'adduction par ménage dont le total est de 305 selon le recensement de 2003. Actuellement, face à ce problème, les habitants d'Ouzini et de Salamani projettent augmenter deux captages en exploitant d'autres sources. Vers l'aval près de Salamani, un troisième captage gravitaire du cours d'eau alimente le chef-lieu de la commune Ngandzalé. Encore, face à l'insuffisance du débit, la première prise qui se trouvait un peu en aval fût repoussée vers l'amont de la rivière.

Dans le bassin versant Lingoni-Pomoni, le problème lié à l'alimentation en eau des localités n'a pas été constaté. Un bassin de stockage situé à Mizoumarini ravitaille en eau le quartier Lacoti de Lingoni. Une partie des eaux du petit fleuve de Pomoni est directement exploitée pour ravitailler le village de Lingoni pendant qu'une autre est détournée à partir du barrage de la centrale hydroélectrique. Vers l'aval, une autre prise est effectuée au même cours d'eau pour alimenter Pomoni. Le petit fleuve est également en partie exploité pour la distillation d'ylang-ylang qui consomme une quantité significative d'eau.

En comparaison, les localités du bassin versant Lingoni-Pomoni sont mieux desservies en eau que celles du bassin versant Ouzini-Ajaho. En commun, les témoignages concordent sur une baisse de niveau et une diminution du débit des courants et cela face à une urbanisation croissante sous pression démographique. A terme, il paraît difficilement envisageable, si la population continue à croître, de limiter le système de distribution d'eau à des captages de type gravitaire [Charmoille, 2013b].

Les facteurs climatiques (diminution des précipitations, augmentation des températures, pluies diluviennes, cyclones) associés aux facteurs hydrogéologiques (faible capacité de stockage d'eau) et morphologiques (profil du chenal moins favorable aux écoulements de surface) sont exacerbés par les mutations de l'occupation du sol des dernières décennies : recul de la couverture forestière, extension des plantations de girofliers, dynamique démographique et développement des agglomérations. S'ajoute à cela un changement des modes d'exploitation et de mise en valeur des ressources : utilisation croissante des tronçonneuses en forêt, développement des distilleries d'ylang-ylang consommatrices d'eau et de bois, aménagements hydrauliques inadaptés et extraction de granulat alluvial dans les fonds de vallées. Tout cela a entraîné une perturbation hydro-dynamique et morpho-dynamique modifiant ainsi les conditions d'infiltration des eaux dans le sol, entraînant la diminution des débits des écoulements, transformant des cours d'eau permanents en cours d'eau temporaires, favorisant l'augmentation des mouvements de masse et des décapages et renforçant l'agressivité des crues.

Partie III.

A la recherche d'un modèle d'analyses

Chapitre V. Multiplicité des acteurs, multiplicité des regards

**Chapitre VI. La perturbation du fonctionnement hydrologique des
bassins versants : mythe et réalité, sensibilité des milieux et
modèle d'aménagement**

Chapitre V. Multiplicité des acteurs, multiplicité des regards

D'emblée, l'approche développée dans cette thèse est naturaliste. Mais pour assurer l'opérabilité d'un modèle d'aménagement qui est la finalité de la présente recherche, il nous est indispensable de nous préoccuper des acteurs paysagers.

Dans ce chapitre, nous présenterons les représentations individuelles des acteurs paysagers pour pouvoir « construire une vision collective des paysages du bassin versant » [Lelli et Paradis, 2005]. Parmi ces acteurs, nous nous intéresserons davantage du cas spécifique des paysans qui façonnent les paysages. Nous chercherons à comprendre la manière dont ont été conduits les projets d'aménagement qui ont voué à l'échec en territoire paysan, comment sont prises les décisions au sein de leur communauté et montrer la logique de complémentarité entre les savoirs paysans et académiques. L'exploitation de ces savoirs permettra d'identifier les espèces d'intérêts écologiques (maintien de l'eau et habitat) et sociales et de les répartir en fonction de l'importance accordée par les paysans pour enfin évaluer leur vulnérabilité sur le plan social et écologique.

V.1- Des unités paysagères et des acteurs : des représentations différentes

Les détails de la méthode mise en œuvre pour parvenir aux résultats qui suivent sont donnés au chapitre II (*cf. II.2.1*). Il convient seulement de préciser que les termes « représentation », « sensibilité » et « attirance » employés dans le texte renvoient à l'importance ou à la préférence que l'observateur accorde à une unité paysagère qu'il aura choisie lors de l'enquête par photographie. Il s'agit de faire un choix de préférence entre la forêt, la culture et les bâtis pour le premier questionnaire et entre un cours d'eau à sec, en étiage et en crue pour le second et de justifier la motivation de ces choix. En d'autres termes, on cherche à comprendre ce que représente pour l'enquêté l'unité paysagère qui a guidé son choix de préférence.

L'enquête sur les représentations paysagères concerne 91 individus répartis en trois catégories :

- 54 habitants majoritairement agriculteurs du bassin versant Ouzini-Ajaho ;
- 19 écogardes ayant suivi une formation en février 2013 sur la gestion des Aires Protégées dans le cadre de la Convention sur la Diversité Biologique. Leur mission est de

sensibiliser les utilisateurs « sur les mesures de conservation de la biodiversité et de gestion durable des ressources naturelles »⁴⁴ et de contrôler leur mise en application ;

- 18 institutionnels chargés de la gestion du territoire et des ressources ainsi que de projets de développement local à travers des ONG et associations.

V.1.1- Le paysage des habitants : un regard interne

54 habitants du bassin versant, âgés d'au moins 30 ans, ont été enquêtés sur leurs préférences paysagères. 72,2 % sont des cultivateurs, 11,1 % des enseignants et les 16,7 % restants sont issus de différents secteurs d'activités comme la distillation d'ylang-ylang, la boucherie, des ménagères, etc.

- 46 % des riverains enquêtés ont une attirance pour la forêt dense humide (*figure 79*). Cette partition qui représente la majorité des habitants préfère cette dernière par rapport aux aptitudes culturelles de son sol riche en humus, fertile et humide, ce qui encourage les cultures sous-forêt. Elle juge également que la forêt fournit du bois, de l'oxygène, de la pluie et constitue un habitat pour la faune (*figure 80*). Ce sont donc les fonctions économiques et écologiques qui appuient ces représentations.

- 37 % des habitants sont **sensibles** aux zones culturelles. Ces dernières sont perçues comme indispensables puisqu'elles constituent un héritage des générations passées qui les a toujours fait vivre. On peut donc dire que ce sont les fonctions culturelles qui sont en jeu avec les fonctions économiques.

- 17 % des enquêtés ont de préférence pour les bâtis. Cette minorité juge que ces derniers s'étalent sur un terrain plat (exemple du village d'Ouzini, Salamani, etc.) et qu'ils sont entourés d'arbres qui, selon eux, purifient l'air et jouent un rôle de brise vent.

⁴⁴ Extrait du « Plan de formation des gestionnaires des Aires Protégées aux Comores » en coordination avec le projet Organisation Communautaire de Base – OCB/PNUD, le Programme of Work on Protected Areas – PoWPA et la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université des Comores.



Figure 79-Regard interne des riverains sur les unités paysagères

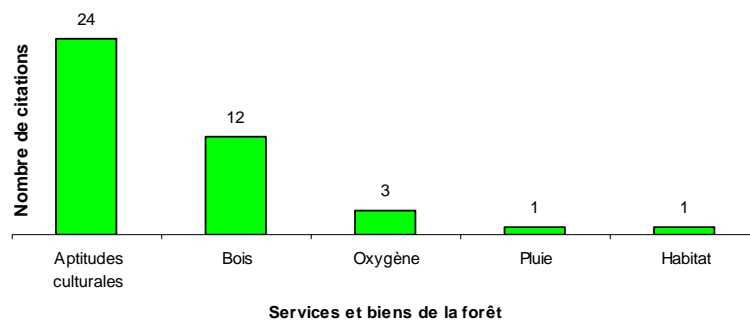


Figure 80- Services et biens fournis par la forêt selon les riverains

Ces résultats illustrent que la majorité des enquêtés est très sensible à la forêt par rapport aux zones culturelles et aux bâtis. La justification la plus dominante qui a guidé ce choix est celle de l'aptitude culturelle des sols de la forêt. C'est donc à travers cette dernière que le paysan perçoit les zones culturelles et construit ses projets d'exploitation. Dans un sens général, la forêt est en quelque sorte considérée comme la « source », raison pour laquelle elle occupe la première position par rapport aux zones culturelles.

A la question posée concernant l'importance donnée par les riverains aux trois états d'un cours d'eau saisonnier, 85,20 % d'enquêtés apprécient les cours d'eau en étiage majoritairement en raison du caractère limpide et potable de l'eau. Le cours d'eau en crue n'impressionne que 14,80 % de riverains qui jugent seulement que l'eau est abondante. Aucun enquêté n'a eu de préférence pour les cours d'eau à sec (*figure 81*). Les habitants considèrent que le déficit en eau est une préoccupation majeure par rapport aux excès relatifs aux crues. Selon eux, il vaut mieux avoir de l'eau trouble que de ne rien avoir.

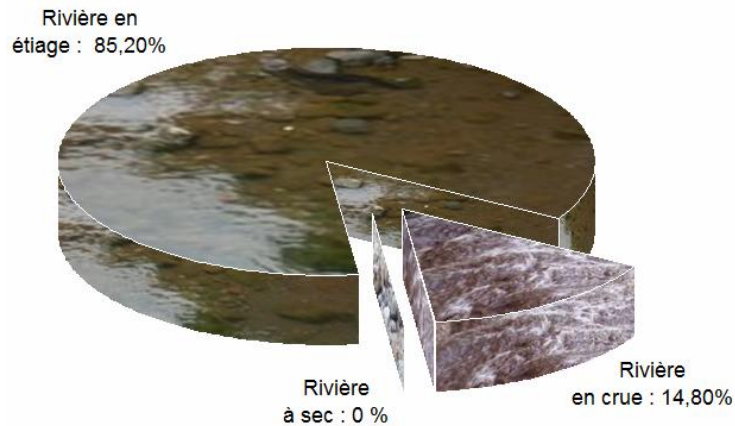


Figure 81-Regard interne des riverains sur les états saisonniers des cours d'eau

V.1.2- Le paysage des institutionnels : un regard externe

Sur les 18 institutionnels enquêtés, 88,9 % ont plus de 30 ans et ont un statut d'intellectuel puisque 83,3 % et 16,7 % ont respectivement suivi des formations universitaires ou techniques. Sur les trois unités paysagères, 50 % des enquêtés se montrent sensibles à la forêt dense humide contre 27,8 % pour les bâtis et 22,3 % pour les cultures.

La forêt, qui occupe la première position en termes de sensibilité paysagère, (*figure 82*) est perçue pour ses différents services écosystémiques (biens et services) :

- valeur économique et socio-culturelle par ses potentialités touristiques, la fraîcheur et la tranquillité au bénéfice de la population ;
- valeur écologique puisque la forêt est l'habitat de la faune ;
- service de régulation lié au caractère protecteur de la forêt car les arbres maintiennent le sol et les sources d'eau selon les enquêtés.



Figure 82-Regard externe des institutionnels sur les unités paysagères

Occupant la seconde position d'après les résultats de l'enquête (*figure 82*), les bâtis ont touché la sensibilité des institutionnels en raison de leur association avec le végétal. Celle-ci

est interprétée comme une cohabitation entre la société et la nature et offre un spectacle de beauté.

Les zones de culture occupent la dernière position en termes de sensibilité paysagère (*figure 82*) puisqu'elles sont perçues comme le résultat de la déforestation. Elles sont toutefois appréciées par rapport aux aménagements réalisés (haie vive, barrière anti-érosive,...) et à la production alimentaire.

L'analyse lexicale de 14 mots-clés cités lors de l'enquête illustre que la plupart de ces observateurs externes perçoivent en priorité le paysage à travers ses « services » et sa « beauté ». Les fréquences de citations respectives sont de 45,90 % et 25 %. D'autres se représentent le paysage à travers la « cohabitation entre la société et le végétal » (12,5 %) et les générations futures. En somme, les enquêtés se font une représentation positive des unités paysagères.

Sur les trois phases annuelles que traverse un cours d'eau à caractère intermittent, les représentations des intentionnelles se répartissent ainsi (*figure 83*) :

- 44,4 % accordent plus d'importance au cours d'eau en crue. Cette majorité considère que les excès hydrologiques sont un signe que l'eau existe en abondance, qu'elle offre des possibilités pour l'énergie hydroélectrique comme le cas de la centrale de Lingoni et que des aménagements sont nécessaires pour lutter contre les ravages ;

- 38,9 % sont sensibles aux cours d'eau en étiage qui est considéré comme étant favorable sur le plan socio-économique. Il fournit une eau limpide et consommable pour les riverains. Or en temps de crues, l'eau est trouble et des dégâts peuvent être déplorés au niveau des infrastructures. Ce même groupe juge aussi qu'une rivière à sec est synonyme d'un déficit hydrique.

- 16,7 % se représentent les cours d'eau à sec comme le reflet d'une situation alarmante qui doit faire l'objet d'une sensibilisation nationale.

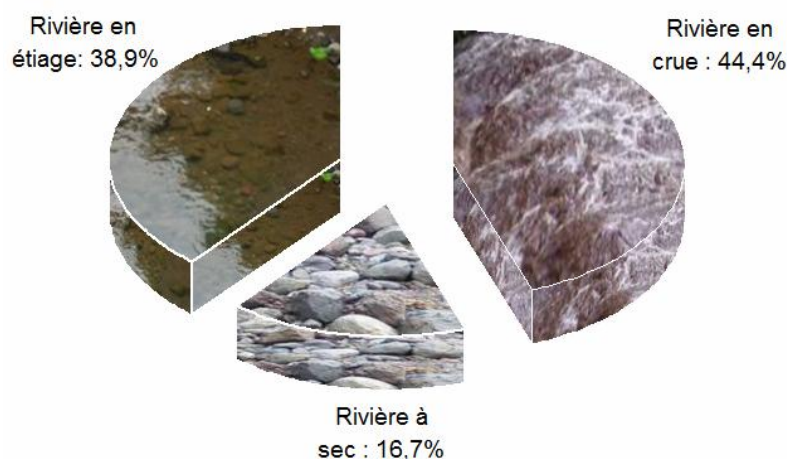


Figure 83- Regard externe des institutionnels sur les états saisonniers des cours d'eau

V.1.3- Le paysage des écogardes : un regard interne - externe

L'enquête a ciblé 19 écogardes ayant plus de 30 ans. 84,2 % d'entre eux n'ont pas dépassé le secondaire contre 15,9 % ayant suivi une formation technique et rarement universitaire. Tous sont issus des localités périphériques des forêts et certains d'entre eux pratiquent l'agriculture. Ces écogardes ont été formés dans le cadre du projet OCB⁴⁵ ayant œuvré pour la mise en place de l'Aire Protégée du massif Ntringui.

Sur les trois unités paysagères, 52,60 % d'écogardes ont une préférence pour la forêt dense humide contre 42,10 % pour les cultures et 5,30 % pour les habitations (*figure 84*). L'analyse lexicale de 16 mots-clés cités lors de l'enquête montre que plus de la moitié des enquêtés conçoit la forêt par rapport à ses services et ses biens, dont l'habitat pour la faune, l'attraction des touristes, le maintien de l'équilibre naturel, la production d'oxygène, etc. La seconde fraction d'écogardes s'est montrée sensible aux zones culturelles. Selon elle, l'agriculture crée des emplois et constitue le principal moyen de survie en milieu rural. Ces deux unités paysagères (forestière et agricole) sont perçues par 10,56 % d'enquêtés comme participant à l'esthétique paysagère contrairement aux bâtis.

⁴⁵Organisation Communautaire de Base

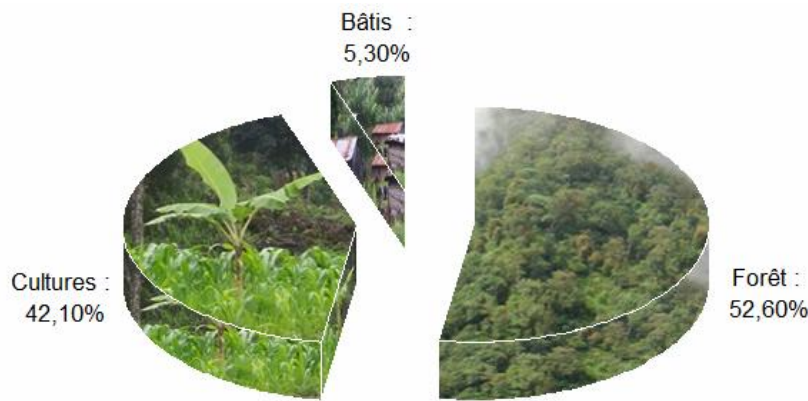


Figure 84-Regard intermédiaire des écogardes sur les unités paysagères

Les résultats de l'enquête auprès des écogardes sur les trois phases annuelles d'un cours d'eau intermittent (*figure 85*) affichent que :

- 68,40 % préfèrent le cours d'eau en étiage qui est perçu par rapport à sa potabilité et sa limpidité favorisant la lessive, la baignade, etc. Bien que les écoulements soient de faible débit en période d'étiage, ils sont les mieux acceptés par les écogardes pour les raisons évoquées précédemment, contrairement au cours d'eau en crue et à sec ;
- 26,30 % ont apprécié le cours d'eau en crue à travers l'abondance de l'eau en dépit de sa couleur ocre. Mais sa traversée est qualifiée de périlleuse ; ce qui contraint des riverains à attendre la décrue pour regagner leur foyer situé dans des localités enclavées.
- 5,30 % sont sensibles au cours d'eau à sec car celui-ci ne présente aucun risque lors de sa traversée.

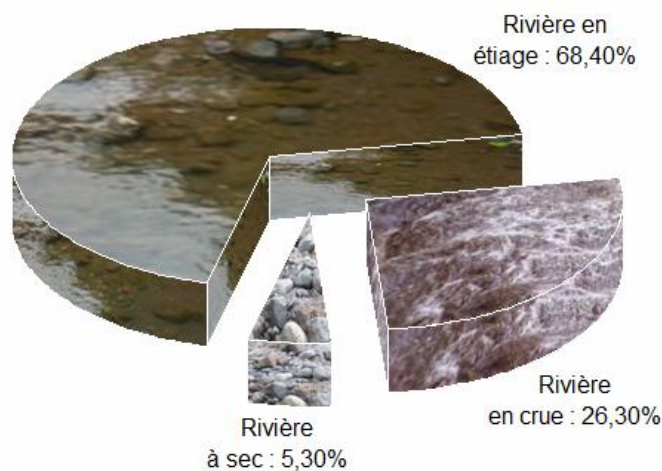


Figure 85-Regard intermédiaire des écogardes sur les états saisonniers des cours d'eau

Le tableau 19 récapitule les sensibilités paysagères selon les trois catégories d'acteurs : institutionnels, écogardes et riverains. Globalement, tous attachent une grande importance à la forêt. Mais la sensibilité des écogardes à la forêt dépasse celle des institutionnels. Par contre,

les préférences des écogardes et des riverains se rapprochent pour donner plus d'importance à l'agriculture face aux institutionnels. Enfin, les représentations que se font ces derniers convergent avec celles des riverains concernant l'importance des bâtis par rapport aux écogardes.

Tableau 19-Sensibilités paysagères selon les acteurs

Unités paysagères	Sensibilités paysagères selon les acteurs (%)			Sensibilité totale (%)
	Institutionnels	Ecogardes	Habitants	
Forêt	50	52,6	46,3	48,4
Culture	22	42,1	37	35,2
Village	27	5,3	16,7	16,4

Entre les trois unités paysagères retenues pour l'enquête, la forêt dense humide détient la sensibilité globale la plus importante avec 48,4 %, suivie des cultures (35,2 %) puis des bâtis (16,4 %).

Le tableau 20 récapitule les sensibilités des institutionnels, des écogardes et des riverains sur les états saisonniers des cours d'eau. En comparaison, la sensibilité des premiers aux cours d'eau en crue domine celles des écogardes et des riverains. Les deux dernières catégories d'acteurs ne manifestent pas d'intérêt aux cours d'eau à sec (0 à 5,3 %), par contre ils donnent une forte importance aux cours d'eau en étiage (68,4 % et 85,2 %). Ainsi, les cours d'eau caractérisés par cet état conservent la sensibilité totale la plus importante (72,5%) contre 23,1 % et 7,1 % respectivement en crue et à sec.

Tableau 20- Sensibilité des états saisonniers d'un cours d'eau selon les acteurs

Etat du cours d'eau	Sensibilités d'états saisonniers d'un cours d'eau selon les acteurs (%)			Sensibilité totale (%)
	Institutionnels	Ecogardes	Riverains	
crue	44,4	26,3	14,8	23,1
sec	16,7	5,3	0	4,4
étiage	38,9	68,4	85,2	72,5

Chacun des individus interrogés, quel que soit son statut socio-professionnel, se fait sa propre représentation des trois unités paysagères des forêt, des cultures et des bâtis. Cependant, les institutionnels et les écogardes ont en commun de donner plus d'importance à la forêt dense humide que les riverains. Par rapport aux institutionnels, la sensibilité des écogardes aux cultures convergent avec celles des riverains. Dans l'ensemble, les espaces forestiers et cultureux restent les plus importants pour les trois catégories d'acteurs paysagers

en comparaison aux bâtis. Quant aux états saisonniers des cours d'eau, une grande importance est donnée à ceux en étiage.

La démarche adoptée fournit des informations sur les aspirations des parties prenantes concernant les unités paysagères : forêt, culture et bâtis et les cours d'eau en crue, en étiage et à sec. Cependant, elle n'apporte pas d'informations sur les aspects relationnels entre les catégories des acteurs paysagers, en particulier, les institutionnels en charge de l'aménagement du territoire et de la gestion des ressources et les paysans.

V.2- Vers une immersion dans l'univers paysan

Dans ce paragraphe, nous analyserons le lien entre le paysan et la terre et nous le mettrons en regard des projets d'aménagements conduits par des institutionnels. Par la suite, nous cherchons à comprendre le fonctionnement de la société paysanne à travers les décideurs les plus influents capables de mobiliser la masse. Enfin, nous montrerons la logique de complémentarité entre les savoirs paysans et académiques à travers des exemples de terrain.

V.2.1- Des échecs et des leçons à tirer : la terre et le paysan, des liens sacrés

Pour expliciter le cheminement de notre raisonnement, nous nous référons à un extrait de Dozon [1988] :

« En matière de développement rural africain, un point est aujourd'hui à peu près acquis, les projets, opérations, plans de développement qui se sont multipliés, en gros depuis les indépendances, n'ont pas dans l'ensemble tenu leurs promesses. Les échecs sont nombreux, les réussites rares ; à l'entre-deux, des résultats médiocres et incertains, où les techniques proposées pour améliorer et transformer les politiques et structures agricoles en Afrique Noire paraissent se perdre dans les dédales des sociétés locales ».

Face à ces échecs, nous sommes particulièrement conscient qu'il y a eu des changements de la part des institutionnels sur les manières d'intervenir en milieu rural :

« Vers 1980-90, on commence à se poser des questions sur la lenteur de diffusion des actions entreprises au niveau des Sites de Développement Intensif (SDI) (*bassins versants*). La question de la « durabilité » des interventions est posée. Les premières évaluations vont permettre de réviser la méthodologie. Actuellement, les orientations principales vont vers une meilleure prise en compte des besoins exprimés par les paysans » [Dossar, 1994].

En dépit de cette volonté affichée de renverser les tendances, la problématique reste toujours d'actualité. L'un des problèmes tient au fait que de nombreux experts en aménagement éprouvent des difficultés à changer leur méthode de gestion descendante et qu'ils ne comprennent pas pleinement la situation des habitants des bassins [FAO, 2008].

Depuis le cyclone de 1950 à nos jours, de nombreuses opérations d'aménagement (reboisement, agro-foresterie, banquettes, billons, haies vives anti-érosives, ...) ont été réalisées à Anjouan. Si elles avaient réussi, nous estimons qu'une étendue importante du territoire aurait été couverte de forêts et que les érosions du sol ainsi que les perturbations du régime hydrologique n'auraient pas pu arriver au stade inquiétant actuel. En 1983, Stapleton [1986] écrivait que des centaines de kilomètres linéaires avaient été terrassées et des millions d'arbres plantés sans aucun plan d'ensemble cohérent, avec une absence totale de coordination. Il a été constaté qu'aussitôt les reboisements effectués dans des localités, les mêmes villageois ayant participé aux opérations revenaient déterrer les jeunes plants, estimant qu'il s'agissait d'une manœuvre de dépossession foncière. Ils considéraient que ces futurs arbres appartiendraient à l'administration. Les laisser grandir ne garantirait pas la sécurité de leurs terroirs. On voyait mal les agriculteurs consentir à des efforts d'aménagement des parcelles dont ils n'étaient pas sûrs de toujours garder la jouissance [Dossar, 1994]. Dans d'autres cas, les jeunes plants étaient abandonnés sans suivis parce que les habitants concernés n'en voyaient pas l'intérêt. Comme à l'accoutumée, les institutionnels renvoyaient la responsabilité de leurs échecs aux populations locales. Mais en réalité, ces insuccès étaient le résultat des campagnes d'aménagement menées à la hâte alors que de nombreuses conditions sociales n'étaient pas réunies pour permettre une adhésion effective des paysans riverains aux projets. Les besoins exprimés par les paysans et leurs inquiétudes face à l'insécurité foncière ne sont toujours pas pris en compte. Or, c'est la terre qui fait et qui nourrit le paysan. Elle conserve son histoire, constitue son patrimoine et fonde en conséquence la base de sa philosophie.

Le degré d'attachement du paysan à la terre nourricière varie selon les mœurs et/ou les valeurs culturelles de sa communauté. Parmi les six localités des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni, les habitants d'Ouzini et d'Outsa sont les plus sensibles à la terre. Se référant aux origines historiques, la légende raconte que les ancêtres fondateurs de ces villages remontaient du sous-sol⁴⁶. C'est à travers ces croyances mythiques que se sont créés des liens forts entre le paysan et la terre ancestrale par le biais de l'agriculture. De nombreux projets n'en ayant pas tenu compte ont buté contre le foncier. Ainsi, après l'indépendance, on a assisté à l'échec du projet des Autorités de délocaliser le village d'Ouzini vers la plaine Ajaho. Une partie des habitants a choisi de vivre dans l'enclavement plutôt que d'abandonner la terre natale. La terre consolide également l'unité au sein de la paysannerie, surtout quand il

⁴⁶ Le nom de « Ouzini » dérive du terme « Ouzimu » qui signifie « sous-sol ».

s'agit de faire face à un occupant ne faisant pas partie de la communauté. Une telle situation peut aboutir à des heurts comme cela a été le cas entre les villages d'Ouzini et d'Adda dans les années 1980⁴⁷. En effet, ces deux localités se trouvent dans deux bassins versants différents séparés par une ligne de partage des eaux. Les paysans d'Adda avaient franchi cette ligne. Ils s'approprièrent progressivement les terres en défrichant et en pratiquant l'agriculture sur les versants Sud du bassin versant d'Ouzini. Cette avancée a été considérée par les habitants de cette localité comme une spoliation de leurs terres. En conséquence, le village d'Ouzini s'était unifié pour stopper cette « invasion ». N'y pouvant pas faire face, les paysans d'Adda étaient contraints d'abandonner les terres qu'ils avaient occupées. Cette histoire témoigne davantage les liens forts qui existent entre la paysannerie et la terre dans certaines localités de l'île. Au contraire, dans la plaine de Pomoni par exemple, des hectares de terrain ont été vendus à des tiers quelles que soient leurs localités d'origines. Ici, les intérêts économiques ont été privilégiés car la région de Pomoni était parmi les plus influentes dans l'économie des plantations depuis le début de son peuplement.

Le règlement de la question foncière est incontournable pour l'aménagement du territoire et la gestion des ressources naturelles ainsi que pour la délimitation des terres à cultiver et des domaines forestiers [DGE, 1993]. Il est indispensable avant toute proposition d'aménagement de bien cerner les liens historiques des paysans avec la terre, leurs besoins et leurs attentes et de comprendre la manière dont sont prises les décisions.

V.2.2- L' « administration paysanne » et les décideurs influents

Pour comprendre comment sont prises les décisions, nous nous sommes d'abord intéressés aux statuts sociaux des acteurs villageois pour définir leur sphère d'influence. Nous sommes parti du principe selon lequel chaque société a toujours des leaders ou des personnages influents capables de mobiliser la masse. Parmi les personnages identifiés, nous allons présenter les détenteurs d'un statut religieux et culturel, politique ainsi qu'économique (paysans producteurs, commerçants, grands propriétaires terriens).

Sans conteste, les Comores, et Anjouan en particulier, appartiennent à la civilisation musulmane [Robineau, 1966]. Le rapport de la société avec l'islam est très important à tel point que des concepts religieux sont ancrés dans la culture. Dans un tel contexte, les dignitaires religieux apparaissent, au premier chef, comme les personnages les plus influents dans la prise des décisions au sein des communautés. Le plus souvent, ils sont des cadis et/ou

⁴⁷ Adda se situe à 3 km au Sud-Est d'Ouzini

des cheikhs (prédicateurs religieux) mais aussi des Autorités coutumières fréquemment sollicitées pour résoudre des affaires familiales : foncier, mariage, divorce, héritage, etc. Ainsi, leur sphère d'influence est très large. En général, ces personnages sont mieux acceptés et écoutés que le chef de village dont les pouvoirs sont attribués par les Autorités politiques. Le chef de village a le titre de représentant légal des habitants auprès des Autorités. Il est consulté pour résoudre des problèmes pouvant remonter jusqu'au tribunal. Il s'agit par exemple des cas de vol d'un bien (animaux domestiques, produits agricoles, etc.), de divagation d'un herbivore dans une parcelle mise en culture, de litiges sur les limites parcellaires, etc. Quant aux détenteurs d'un statut économique, plus particulièrement les commerçants et les paysans producteurs, leur influence varie au sein de la communauté villageoise à laquelle ils appartiennent. Le degré d'influence des commerçants est tributaire de la sociabilité et de la générosité de chacun. Chez les paysans producteurs, on estime par contre que le sort de tout projet d'aménagement (réussite ou échec) ne relève que de leur volonté dans la mesure où ils représentent la majorité de la communauté concernée et sont les maîtres du terroir.

Concernant l'âge et le genre, le fonctionnement des sociétés paysannes anjouanaises reflète le constat fait par Robineau [1966] qui est certes très ancien mais qui reste d'actualité :

« Non dépourvues d'influences, chacune dans le cadre de leur foyer, elles [*les femmes*] n'ont aucun pouvoir sur les hommes groupés dans l'assemblée de la mosquée, d'autant que les décisions se préparant souvent à l'intérieur du *hirim*, classes d'âge, sont peu susceptibles de subir les effets d'un mouvement subit de l'opinion. Et les hommes ont, non seulement l'autorité, mais les biens à leur disposition ».

Tous ces éléments démasquent une société paysanne inégalitaire : statut, sexe et âge. On peut dans ce cas distinguer quatre strates sociales :

- le (s) dignitaire(s) religieux, le chef de village, les doyens et/ou les sages avec leurs collaborateurs ;
- les hommes d'âge mûr (paysans producteurs, commerçants, etc.) ;
- les femmes ;
- les « *hirim* » qui sont les jeunes ;

Dans ce genre de société, il sera idéal de savoir alterner l'approche discriminatoire et égalitaire entre ces quatre strates sociales lors des réunions de sensibilisation pour un projet d'aménagement. L'approche discriminatoire consiste à organiser des réunions séparées pour chaque strate sociale. Elle a l'avantage de réduire la complexité entre les individus de statuts

différents, permettre à tout un chacun de s'exprimer sans crainte et favoriser les échanges d'expériences, de savoirs et de savoir-faire locaux.

V.2.3- Les savoirs paysans et académiques : une logique de complémentarité

La notion de savoir local s'est imposée dans la recherche scientifique et l'aménagement du territoire depuis plus de deux décennies, comme réponse aux échecs relatifs de nombreux projets de développement en Afrique [Bouzou & Yamba, 2008]. L'échec des dites interventions serait principalement lié à une « approche top-down » qui ne permet pas aux intéressés de s'approprier véritablement l'innovation [Blanc-Pamard & Fauroux, 2004] proposée par les institutionnels. La reconnaissance des savoirs paysans est aujourd'hui un fait partagé [Aurokiatou, 2010] mais leur rapprochement avec les savoirs académiques suscitent des débats. A Anjouan, leur place dans les actions de développement dites intégrées reste floue bien que le concept « d'engagement communautaire » soit utilisé dans les discours des ONG et des associations et projets. Ces savoirs semblent être marginalisés, ce qui ne contribue pas au renforcement des relations entre les institutionnels et les paysans locaux. Ceux-ci ont leurs propres modalités d'utilisation et de gestion des ressources constituant ainsi leur héritage et leurs pratiques quotidiennes. Ils sont en mesure de détecter les changements survenus dans leurs écosystèmes, d'en tirer les leçons et de développer des stratégies d'adaptation. Les propos suivant recueillis auprès d'un paysan d'Ouzini lors de l'enquête reflètent le sentiment que les locaux ressentent lorsqu'un « arriviste » cherche à connaître leur savoir et savoir-faire sur la gestion de la terre :

« Tu es venu avec un cahier nous demander de t'apprendre ce que nous savons faire. Or, les autres (institutionnels) viennent toujours nous apprendre ou nous imposer des modalités de travail sans demander notre point de vue comme si nous ne savons rien de la terre » (Propos traduit par N. Mirhani).

Cet extrait traduit chez l'informateur un sentiment de joie en constatant que les savoirs et savoir-faire des paysans sont considérés. Par contre, ils éprouvent un sentiment de déception quand ils sont conscients de voir leurs savoirs et savoir-faire marginalisés par les institutionnels. Des chercheurs conscients de ce problème, partagent l'idée selon laquelle les savoirs paysans se situent à l'intersection de plusieurs disciplines [Aurokiatou, 2010] : écologie, botanique, pédologie, agronomie, pharmacopée, anthropologie, etc. Pour étayer cette affirmation et montrer que l'aménagement rural n'est pas seulement l'affaire des ingénieurs, nous citerons quelques exemples recueillis lors des enquêtes en essayant autant que possible d'établir un rapprochement avec la science académique :

Les savoirs pédologiques et botaniques

Loin d'être un scientifique, le paysan se sert des composantes biophysiques comme indicatrices de l'état de son environnement. Ainsi, la présence de *Maoua* (*Tithonia diversifolia*), une plante rudérale, lui indique que le sol est fertile. Le début de sa floraison l'informe de la venue de la saison fraîche. Scientifiquement, il a été prouvé que cette plante fréquente les sols qui ont une carence en phosphore et qu'elle a la capacité de leur restituer le NPK (Azote, Phosphore et Potassium) dont ont besoin les cultures. La repousse de certaines plantes de la jachère renseigne que le sol est potentiellement cultivable ; *Chitsatsi* ou *Mdoudou* (*Bidens pilosa*) en est une illustration. Les paysans utilisent aussi la couleur et la structure pour identifier les sols riches et pauvres. Le plus rentable porte le nom de « *trové dzidou* » (terre noire) (H1) d'un profil de 20 à 40 cm de profondeur supportant l'horizon organique H0 appelé « *Trontro* » (figure 86). L'identification scientifique à partir de la charte de couleur *Munsell Soil* fait ressortir une teinte « very dark brown » (10YR - 7,5 YR) qui est très proche de celle indiquée par les paysans. Les analyses en laboratoire décèlent la présence de matières organiques qui expliquent cette teinte noire et cette bonne fertilité du sol. Par contre, *padza*, *chambé*, voire *sagasy*, sont classés dans la catégorie des terres incultes et/ou dures. Ils sont l'expression finale d'un décapage ou d'un mouvement de masse et nécessitant une réhabilitation. En utilisant les savoirs paysans, il est aussi possible de répartir ces types de sol selon leur degré de stabilité (cf. VI.2.2) et d'identifier les espèces qui entretiennent les écoulements hydriques (cf. V.3.1).

Dans un milieu où les données scientifiques sont lacunaires, ces savoirs vernaculaires sont cruciaux pour anticiper les risques environnementaux et orienter les aménagements.

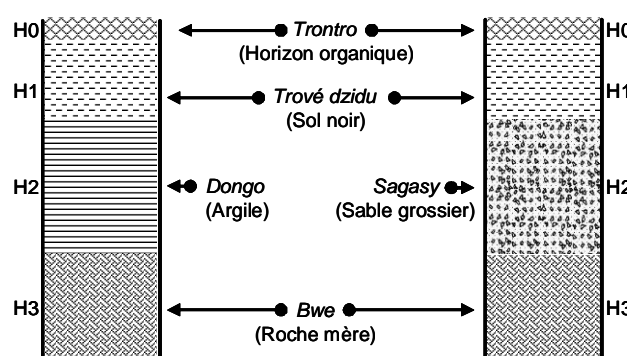


Figure 86- Classification paysanne des sols

De nombreux noms vernaculaires sont porteurs d'informations expressives. L'accès à ces connaissances permettra aux spécialistes en aménagement de s'en servir pour comprendre par exemple la biogéographie et l'intérêt écologique de certaines espèces. L'essence forestière

« *Mrondrantsolé* » (*Phyllanthus pervilleanus*) qui est l'hybride d'un fruit « *Mroundra* » et d'un oiseau « *Ntsolé* » est un cas parmi d'autres. Cette espèce nourrit les oiseaux qui, à leur tour, contribuent à sa dissémination. Si l'aménagement s'oriente dans le cadre d'une conservation de la biodiversité, on peut anticiper que la suppression d'un tel arbre affectera la niche écologique des oiseaux en question.

Les noms vernaculaires ont d'autres particularités. L'appellation d'une espèce peut varier selon les localités. *Mpouweara wachzungu* ou *Mpowera marachi* (*Eugenia jambosa*) signifient respectivement « goyavier français » à Ouzini et « goyavier aromatique » dans d'autres localités. Le premier nom conserve une partie de l'histoire de la plante alors que le second la caractérise. L'interprétation directe du nom vernaculaire renvoie à une espèce introduite. Les données phytogéographiques ont également montré qu'il s'agirait d'une espèce exotique naturalisée. D'autres explications peuvent aussi être tirées des fruits de cette espèce : couleur rappelant une peau blanche et un goût aromatique. Un autre point important est de noter que botaniquement, on peut identifier deux espèces de familles différentes portant un même nom vernaculaire. Pour lever cette ambiguïté, les indigènes ajoutent l'indicatif du genre pour certaines espèces. Par exemple *Boehmeria macrophylla* (URTICACEAE) et *Lea cuspidifera* (LEACEAE) ne sont pas de même famille et pourtant, ils portent le même nom vernaculaire « *Chboumba* ». Pour les différencier, le premier s'est vu attribuer la masculinité et le second la féminité.

La gestion locale des ressources

Loin de faire l'inventaire effectif de différentes pratiques et techniques de gestion des ressources (eau, forêt, terre), nous nous contentons d'en citer quelques unes :

Il est communément admis que la dégradation des sources d'eau exploitées pour alimenter les villages risque de compromettre la vie des habitants. Des décisions collectives sont prises pour faire face à de tels problèmes. Des reboisements sont effectués en périphérie des points de prise d'eau pour ne citer que le cas du captage de Magouni à Ouzini. Y sont strictement interdits le pâturage, la mise en culture, l'abattage d'un arbre et autres actions susceptibles d'avoir des impacts négatifs sur l'eau. Ces initiatives paysannes sont conformes à la loi N° 94-037 du 21 décembre 1994 portant code de l'eau dont ils n'ont pas eu connaissance pourtant. La différence est que la législation en vigueur va plus loin en définissant des périmètres de protection immédiate (rayon minimal de 50 m) et rapproché qui sera complété par un troisième dit de protection. Plus en amont du bassin versant, c'est sur la sacralité que repose la logique de la gestion des aires naturelles. Le lac Dzia-dégué est considéré comme sacré pour certains riverains qui viennent y faire des offrandes et des

invocations. Un octogénaire qui a fréquenté le lieu nous a relaté qu'avant de capturer un hérisson, il s'adresse d'abord aux esprits pour leur assurer qu'il n'est pas venu pour voler mais uniquement pour trouver à manger. Cette attitude marque un signe de respect envers la nature. Ce caractère sacré a ainsi contribué à la préservation de la forêt environnante contre la pression agricole. Cela se rapproche de l'idée des Aires Protégées mais conçue dans des perspectives culturelles. Cependant, il faut admettre que la superficie de tous les sites bénéficiant de ce privilège de protection est très limitée.

Nous avons vu précédemment que les bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni sont fréquemment soumis à des vents violents qui ravagent les cultures. Pour atténuer ce problème, les paysans ont eu l'idée de ne pas abattre tous les arbres lors du défrichement sur certains terroirs. Ils coupent les jeunes pousses ou les arbustes et laissent ceux qui sont en mesure d'assurer la fonction de brise-vent. Ceux-ci assurent d'autres fonctions ; celles de la protection et du maintien de la fertilité du sol. Ce savoir-faire respecte les principes de l'agroforesterie développée en techniques forestières. En termes de lutttes anti-décapages, on reconnaît que les connaissances paysannes et les apports externes sont associés et ne doivent pas être considérés séparément. La construction de murettes en pierres sèches observée par exemple dans la plupart des terroirs agricoles à Ouzini (*photo 67*) paraît provenir des propositions d'aménagement faites par Brouwers [1973] puis par Tricart & Kilian [1979]. L'idée de ces deux auteurs était de rendre cultivables des terrains superficiellement pierriers en récupérant les pierres pour constituer des cordons perpendiculaires à la pente en faveur de la conservation des sols et des eaux. Les éleveurs renforcent cette technique par la mise en place d'une bande végétale graminéenne leur servant de fourrage. Dès la récolte, les paysans plantent la patate-douce ou pratiquent le système de paillage pour empêcher la prolifération des adventices et protéger le sol (*photos 68-69*). Une autre technique consiste à planter des bananiers et des taros entre les débris de végétaux laissés expressément après le défrichement pour protéger et enrichir le sol (*photo 70*). La forêt est maintenue à certains niveaux de pentes pour réduire les risques de décapage ou de mouvements de masse qui se répercutent sur les cultures et le sol arable. D'autres techniques de gestion des sols associant les savoirs paysans et externes ont été adoptées dans des localités anjouanaïses en fonction des conditions physiques du milieu à valoriser. Les expériences réalisées sont synthétisées dans le guide pratique « Défendre et restaurer les sols » de Mahamoudou et Amri paru en 2011 dans le cadre du programme ProGeCo⁴⁸ financé par l'Union Européenne.

⁴⁸ ProGeCo : Programme Régional de la Gestion durable des zones Côtières



Photo 67- Murette en pierres sèches pour le maintien du sol

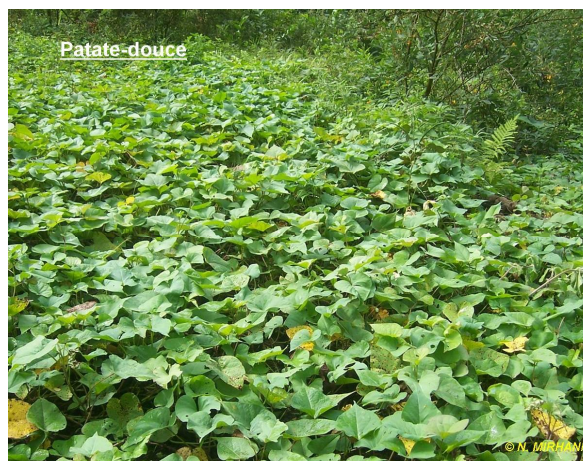


Photo 68- Protection du sol par herbage (patate-douce)



Photo 69- Protection du sol par la technique de paillage

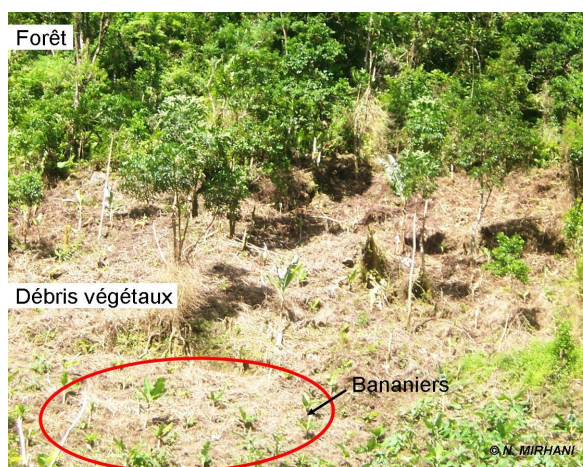


Photo 70- Recouvrement du sol par des débris végétaux

Sans nier leur part de subjectivité, les savoirs paysans doivent être considérés dans une optique de complémentarité avec la science académique surtout dans les milieux où les données scientifiques sont lacunaires. Cette perspective ouvre la voie à un « dialogue égalitaire entre paysans, techniciens et cadres ruraux, pour la mise en valeur des savoirs et savoir-faire de chacun » [Bouzou & Yamba, 2008]. C'est par leur hybridation que les experts techniques cerneront les points forts et les limites pour pouvoir proposer des modèles d'aménagement respectueux de l'environnement socio-culturel de la communauté concernée. Dans le cadre du Programme d'aménagement des bassins versants et de lutte contre la pauvreté (CAMP), des expériences ont été réalisées en Afrique du Sud, en République-Unie de Tanzanie et à Grenade (Antilles). Les avantages sont présentés dans l'encadré suivant extrait de la FAO [2008].

RECHERCHE INTERACTIVE ET APPRENTISSAGE PAR L'ACTION DANS LA GESTION DES BASSINS VERSANTS : LE PROJET CAMP

Quelles seront les conséquences d'une amélioration de l'aménagement des bassins versants sur les moyens d'existence locaux ? Comment peut-on utiliser la technologie de gestion des bassins hydrographiques pour renforcer les actifs du capital naturel et réduire la vulnérabilité environnementale ? La recherche interactive du programme CAMP essaie de répondre à ces questions.

Dans la recherche interactive sur les bassins versants, les parties intéressées travaillent de concert avec des chercheurs scientifiques non seulement au niveau de la conception, en aidant à définir les objectifs du programme et en s'assurant de la mobilisation des ressources, mais aussi à celui de la mise en œuvre, en assurant le suivi et la direction du projet. Des expériences conduites en Afrique du Sud, en République-Unie de Tanzanie et à Grenade montrent que cette approche présente les avantages suivants :

- Grâce à une étroite participation à la recherche, les parties intéressées s'approprient le programme et ont plus de facilité à comprendre et à adopter les résultats de la recherche.
- Les connaissances et les données disponibles sont mieux utilisées lorsque l'on s'appuie sur les ressources collectives de toutes les parties intéressées.
- Le processus d'apprentissage par l'action contribue à renforcer la sensibilisation et à faciliter la négociation entre différents intérêts.
- Des flux d'information bidirectionnels sont établis entre les parties intéressées et les chercheurs ainsi qu'entre différents acteurs.
- Tous les aspects liés à l'écologie des bassins, y compris les moyens d'existence, la gouvernance et les liens amont-aval, sont pris en compte et représentés.
- Une collaboration entre les groupes concernés ayant différents intérêts et perspectives est probablement le meilleur moyen d'atteindre les objectifs d'aménagement des bassins versants.

Source: Calder, 2005.

V.3- Un regard écologique et social de la flore

Les résultats qui suivent proviennent des enquêtes ethno-écologiques réalisées dans les bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni. Les savoirs écologiques paysans associés aux observations sur le terrain nous ont permis d'identifier les espèces supposées entretenir les écoulements des cours d'eau et les aquifères, connaître le rôle joué par la flore dans la préservation d'une « faune menacée » et les fonctions qu'elle assure sur le plan socio-économique et culturel.

V.3.1- Des plantes au service de l'eau

Bien que nos résultats soient fondés sur des témoignages et des observations sans expérimentation scientifique, la démarche entreprise constitue un point d'entrée pour le choix des espèces floristiques pouvant contribuer à un essai de restauration des cours d'eaux. Ainsi, 7 espèces supposées entretenir les écoulements ont été retenues suivant l'Indice

d'Identification Locale (IIL) (figure 87). *Ficus lutea* (Vouvou) qui occupe la première position (IIL= 70) est très fréquente sur les périmètres des points d'eau permanents. Il est suivi de *Ficus sp.* (Chihi) et *Anthocleista grandiflora* (Mpapa) avec comme IIL respectifs 40 et 30. Trois espèces, *Dracaena reflexa* (Mtsanga), *Bambusa vulgaris* (Mbambou) et *Weinmannia comorensis* (Murimoundra ou *Mtringutringu*) ont le même IIL, soit 20 pour chaque. *Gnagi*⁴⁹ est la plante dont l'IIL est la plus faible (10) ; l'espèce n'a pas été observée sur le terrain. Parmi ces taxons, ajoutons *Erythrina sp.* (Mnougou) localisé sur les rives en aval de petit fleuve de Pomoni et sur la plaine inondable. Selon les riverains, cette espèce maintient les écoulements.

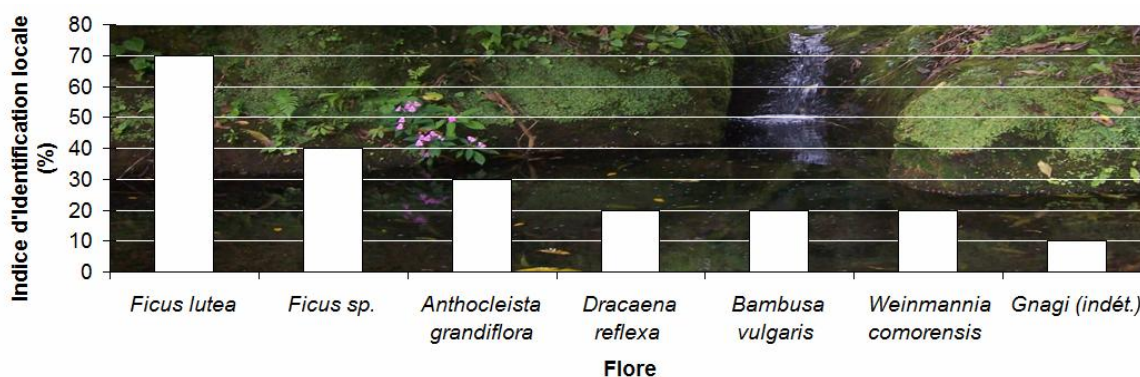


Figure 87-Indice d'Identification Locale de la flore du maintien des cours d'eau

V.3.2- Des plantes au service d'une « faune menacée »

Les plantes constituent un habitat pour la faune et lui fournit sa nourriture. Parmi les mammifères, la civette (*Viverricula indica*) appelée localement *Funga* est présente dans la zone d'étude. Son musc traditionnellement recherché à Anjouan n'y fait pas l'objet d'une exploitation. Cependant, il convient de signaler que l'espèce figure dans la liste globale de la faune sauvage menacée de l'Union Mondiale pour la Nature (UICN) avec un statut de *Least Concern* – LC (Préoccupation Mineure) [Duckworth *et al.*, 2008]. Les chauves-souris frugivores *Pteropus livingstonii*, *Roussettus obliviosu*, les lémuriens *Eulemur mongoz* fréquentent les sites d'extension de *Ficus lutea* (Vouvou), *Eugenia jambosa* (Mpouera wachizungu), *Ficus sp.* (Chihi), *Ocotea comorensis* (Mrobwe), etc. Ces animaux sont également inscrits sur la liste rouge de l'UICN.

Pas moins de 11 espèces d'oiseaux recensés tirent une part importante de leur régime nutritionnel de graines de plantes : *Phyllanthus pervilleanus* (Mroundrantsolé), *Tambourissa kirkii* (Troha), *Chefflera myrifolia* (tremguema), *Aphloia theaeformis* (Mhamba), etc. Très

⁴⁹ Le nom « Gnagi » couvre deux plantes différentes à l'échelle locale. Le genre qui nous intéresse est consommé par les bœufs.

répandu sur les rives, *Boehmeria macrophylla* (*Chboumba*) est doté d'une inflorescence en chatons grêles et allongés qui constitue un matériel très utilisé par *Foudia* dans la construction de son nid. Parmi les espèces observées, *Foudia eminentissima* (*Mperamoro* ou Foudy des Comores), *Otus capnodes* (*Buindri* ou Petit-duc d'Anjouan) en Danger Critique d'Extinction selon le statut de l'UICN, *Nectarina comorensis* (*Shitsozi* ou Souimanga d'Anjouan), *Alectroenas sganzini* (*Ninga* ou Founigo des Comores) sont répertoriés dans la liste des espèces intégralement protégées par l'Arrêté n°01/031 /MPE/CAB du fait de leur endémisme, de leur rareté et des menaces anthropiques. *Coracopsis vasa* (*Kwendzi* ou Perroquet vasa) est inscrit parmi les oiseaux partiellement protégés [MPE, 2001]. *Alcedo vintsioide* (*Mwegné-ahmadi* ou *Mwegnémro*) est un oiseau très fréquent le long des cours d'eau, surtout permanent. Les autres espèces d'oiseaux sont listées au tableau 21. La menace potentielle pouvant perturber leur mode de vie est la destruction de leur habitat.

Tableau 21- Quelques oiseaux répertoriés à Ouzini

Nom local	Nom français	Nom latin	Famille
<i>Chimpanga / Pandruzi</i>	Épervier de France	<i>Accipiter francesiae</i>	ACCIPITRIDEAE
<i>Mrédezé</i>	Tchitrec malgache	<i>Terpsiphone mutata</i>	MONARCHIDEAE
<i>Mpera</i>	Foudi rouge	<i>Foudia madagascariensis</i>	PLOCEIDEAE
<i>Ntronga / Shilapoutou</i>	Zostérops malgache	<i>Zosterops maderaspatanus</i>	ZOSTEROPIDEAE
<i>Marimdou</i>	Drongo malgache	<i>Dicrurus forficatus</i>	DICRURIDEAE
<i>Shikurudongo</i>	Tourterelle peinte	<i>Streptopelia picturata</i>	COLUMBIDEAE
<i>Doura (Régué)</i>	Martin triste	<i>Acridotheres tristis</i>	STURNIDEAE

Sources : Observations et enquêtes de Nourddine MIRHANI

V.3.3- Des plantes au service de l'homme

D'après l'enquête ethno-botanique, la flore intervient dans de nombreux domaines sociaux à savoir la construction des habitations et des mobiliers, l'énergie, l'alimentation, la pharmacopée et l'élevage. Voici quelques exemples de ces services socio-économiques et culturels de la flore :

La construction concerne les maisons en paille, en argiles et en tôles, les édifices publics (poste de santé, école et mosquée) et les clôtures. Elle a toujours nécessité du bois. Cette réalité générale est très prégnante à Ouzini où l'acheminement des matériaux de construction tels que le ciment et le fer est rendu difficile et coûteux par l'enclavement. Le tronc, les tiges et /ou les branches élancées de *Nuxia pseudodenta* (*Mwaha*), *Phyllanthus pervilleanus* (*Mrondrantsolé*) et *Ocotea comorensis* (*Mrobwe*) sont parmi les plus sollicitées pour la construction des habitations.

Les espèces destinées à la fabrication de planches, chevrons et madriers sont classées dans la catégorie des bois d'œuvre. Les habitants se servent directement des planches ou les vendent dans les menuiseries des centres urbains de Domoni et Mutsamudu pour la fabrication des lits, des portes, des meubles, etc. Cette activité constitue une source de revenus familiaux. Suivant la qualité du bois, le prix de vente varie entre 6000 et 4000 Fc (12 et 8 €) pour un madrier, 3000 et 2000 Fc (6 et 4 €) pour une planche et 1750 et 1500 Fc (3,5 et 3 €) pour un chevron de 3 m de long. *Khaya comorensis* (Mtondro) et *Ocotea comorensis* (Mrobwe) constituent le bois d'œuvre de la meilleure qualité, donc le plus rentable sur le marché. Les autres essences d'œuvre sont *Chrisophyllum boivini* (Murimossi/Mfouantsi), *Weinmannia comorensis* (Murimoundra), *Ficus sp.* (Chihi) etc. Mais, le pays importe davantage de planches et de produits finis (portes, lit, salon,...) pour satisfaire la demande sur le marché local.

Les mortiers servant traditionnellement à piler les feuilles de manioc et le riz sont fabriqués à partir du tronc de *Ficus lutea* (Vouvou). Les contreforts de la même espèce sont exploités pour la fabrication des tambours devenus incontournables lors de la célébration d'un mariage traditionnel ou d'autres manifestations culturelles.

L'énergie fournie par le végétal permet le chauffage, la cuisson et la distillation d'ylang-ylang. Toutes sortes de bois, tiges ou branches, qu'ils soient forestiers – *Nuxia pseudodenta* (Mwaha), *Brachylaena ramiflora* (Mselélé), *Ficus lutea* (Vouvou), etc. – ou domestiques – *Eugenia caryophyllus* (Mkarafou), *Magnifera indica* (Mmanga), *Artocarpus heterophyllus* (Mfanassi), etc., font l'objet d'une exploitation à des fins énergétiques. Suivant le type d'usage, le bois est souvent débité en bûches. L'utilisation de combustible fossile pour la cuisson est loin de se substituer au bois d'énergie surtout en zone rurale ou dans les localités enclavées comme Ouzini.

L'alimentation concerne :

- les fruits d'*Eugenia jambosa* caractéristique des rives en fond des vallées et *Rubus idaeus* (framboise) qui est une plante rudérale ;
- Le thé local est préparé à base des feuilles séchées de certaines espèces forestières dont *Aphloia theaeformis* (Mhamba), *Khaya comorensis* (Mtrondro) et Pouzi ;
- les brèdes⁵⁰ de *Solanum nigrum* (Bwa), une flore de la jachère très réputée dans les localités d'étude surtout à Ouzini. Elle est également vendue sur les marchés urbains.

⁵⁰ Feuilles de certaines herbes comestibles après la cuisson

Cependant, il est constaté que l'intérêt alimentaire est porté avant tout sur les plantes domestiques évoquées au chapitre I (cf I.5.3) ; la flore sauvage joue un rôle moins important.

La pharmacopée traditionnelle à base de plantes constitue une solution palliative aux difficultés d'accès à la médecine moderne dues aux moyens financiers et à l'enclavement de certaines localités comme Ouzini et Outs. Deux postes de santé sont opérationnels dans les deux localités mais les traitements sont limités aux accouchements, aux petits soins et à la prévention contre le paludisme. Habituellement, bon nombre d'habitants ne se rendent pas directement chez l'infirmière lorsqu'une maladie se manifeste, ils se contentent d'abord d'une automédication surtout à base de plantes. Pour apaiser par exemple les maux de ventre, on note l'usage de *Khaya comorensis* (Mtrondro), *Phyllanthus pervilleanus* (Mrondrantsolé), *Aphloia theaeformis* (Mhamba) et *Weinmannia comorensis* (Murimoundra). Le patient boit la tisane extraite, selon l'espèce floristique, à partir de feuilles, d'écorces ou de racines. Les fruits de *Chrisophyllum boivini* (Murimossi) traités avec l'huile de coco sont traditionnellement utilisés pour le massage des nouveaux-nés ; cette pratique est très courante à Ouzini. Pour le traitement du paludisme ou de la fièvre, les feuilles de *Tambourissa kirkii* (Troha) sont utilisées en bain de vapeur.

Les pâturages préférentiels des agro-éleveurs se localisent dans les terrains en friche et les clairières. Les bovins et les caprins y sont quotidiennement attachés à des cordes liées à des piquets fixes ou aux troncs des arbustes ; on parle d'élevage au piquet. La ration alimentaire est composée d'herbes telles qu'*Axonopus compressus* (Kunii), *Scleria racemosa* (Mwanagnahé-wangelé), *Bidens pilosa* (chitsatsi), *Impatiens nomenyae* (Mkambé), *Oxalis* sp. (Ntsomoledzea), etc. Les agro-éleveurs apportent également un fourrage complémentaire incluant les feuilles des essences forestières : *Anthocleista grandiflora* (Mpapa), *Phyllanthus pervilleanus* (Mroundra ntsolé), *Ficus lutea* (Vouvou), *Polyscias* sp.1 (Mougna), etc. Cet élevage au piquet vise à éviter la divagation des bêtes dans les terroirs cultivés et permet aux éleveurs de récupérer la bouse de vache qui sert de fertilisant naturel.

V.4- De l'évaluation des services et de la vulnérabilité floristiques

Pour identifier les besoins des communautés locales, nous allons évaluer les services floristiques à travers les indices d'utilisation, les différents usages ainsi que les organes concernés. Nous verrons par la suite le statut phytogéographique de chaque espèce évaluée. Toutes les données collectées seront associées pour évaluer la vulnérabilité des plantes d'utilité sociale retenues lors de l'enquête.

V.4.1- L'importance sociale des espèces selon leur Indice d'Utilisation

18 plantes sauvages dont 17 ligneuses et une grimpante ont été retenues après l'enquête ethno-botanique. Suivant leur Indice d'Utilisation (IU), les statistiques font ressortir trois classes (tableau 22) réparties ainsi :

- 22,2 % des espèces très utilisées et/ou très connues sont représentées par *Brachylaena ramiflora* (Mselelé), *Khaya comorensis* (Mtrondro), *Weinmannia comorensis* (Murimundra ou Mtringutringu), *Ocotea comorensis* (Mrobwe) ;

- 38,9 % des espèces moyennement utilisées et/ou moyennement connues concernent *Aphloia theaeformis* (Mhamba), *Ficus lutea* (Vouvou), *Tambourissa kirkii* (Troha), *Anthocleista grandiflora* (Mpapa), *Phyllanthus pervilleanus* (Mroundrantsolé), etc. ;

- 38,9 % des espèces peu utilisées et/ou peu connues sont représentées par *Chrisophyllum boivini* (Mfouantsi ou Murimossi), *Bambusa vulgaris* (Mbambou), *Mhonko* (Indét.), *Impatiens nomenyae* (Mkambé), *Areca catechu* (Mvovo mtrou), *Ficus pyrifolia* (Mzéchumbu), *Eugenia jambosa* (Mpouera wachizungu).

Tableau 22-Répartition de la flore par classe de valeurs socio-économiques et culturelles

Classes	Peu utilisée/connue	Moyennement utilisée/connue		Très utilisée/connue
I U (%)	16,7	33	50	66,7
Espèces enregistrées	<i>Chrisophyllum boivini</i> <i>Bambusa vulgaris</i> <i>Mhonko</i> (Indét.) <i>Impatiens nomenyae</i> <i>Areca catechu</i> <i>Ficus pyrifolia</i> <i>Eugenia jambosa</i>	<i>Anthocleista grandiflora</i> <i>Phyllanthus pervilleanus</i> <i>Ficus sp.</i> <i>Pouzi</i> ou <i>Vaibé</i> (Indét.)	<i>Aphloia theaeformis</i> <i>Ficus lutea</i> <i>Tambourissa kirkii</i>	<i>Brachylaena ramiflora</i> <i>Khaya comorensis</i> <i>Weinmannia comorensis</i> <i>Ocotea comorensis</i>

A partir des résultats de l'enquête et des Indices d'Utilisation des espèces, les plantes ayant la valeur socio-économique et culturelle la plus importante sont celles dont l'indice est égal à 66,7 %. Nous estimons qu'elles sont vulnérables à l'action anthropique car plus la valeur de l'UI augmente, plus l'espèce est utilisée et/ou connue par la communauté locale.

V.4.2- Les valeurs floristiques par nombre de services et par organe

Les 18 espèces enregistrées lors de l'enquête sont classées en fonction du nombre de services socio-économiques et culturels qu'elles offrent. Au total, 6 services ont été inventoriés et sont répartis ainsi : la classe inférieure comprend 2 services, la classe moyenne 3 services et la classe supérieure 4 à 5 services. Une espèce fournit au minimum deux services et au maximum cinq.

À partir du tableau 23, on distingue dans la classe des services floristiques supérieurs deux sous-classes :

- la première couvre la majorité des espèces, soit 38,9 %, avec quatre services. Elle comprend *Khaya comorensis*, *Chrisophyllum boivini*, *Tambourissa kirkii*, etc.

- la seconde couvre les espèces caractérisées par cinq services. Elle concerne 22,2 % des espèces dont *Aphloia theaeformis*, *Phyllanthus pervilleanus*, *Brachylaena ramiflora* et *Weinmannia comorensis*. Si l'on considère le nombre de services fournis, cette sous-classe reste la plus vulnérable à l'action anthropique.

La classe moyenne, limitée à trois services floristiques, englobe 27,8 % d'espèces. On note *Ocotea comorensis*, *Areca catechu*, *Eugenia jambosa*, etc. Enfin, la classe inférieure est la moins représentée en termes de services et d'espèces, donc de vulnérabilité négligeable.

Tableau 23- Répartition du nombre de services floristiques par espèce

	Services floristiques par classe			
	Inférieur	Moyen	Supérieur	
Nombre de services	2	3	4	5
Espèces enregistrées	<i>Bambusa vulgaris</i> <i>Pouzi</i> ou <i>Vaibé</i> (Indét.)	<i>Ocotea comorensis</i> <i>Areca catechu</i> <i>Eugenia jambosa</i> <i>Impatiens nomenyae</i> <i>Mhonko</i> (Indét.)	<i>Khaya comorensis</i> <i>Chrisophyllum boivini</i> <i>Tambourissa kirkii</i> <i>Ficus lutea</i> <i>Ficus pyrifolia</i> <i>Anthocleista grandiflora</i> <i>Ficus sp.</i>	<i>Aphloia theaeformis</i> <i>Phyllanthus pervilleanus</i> <i>Brachylaena ramiflora</i> <i>Weinmannia comorensis</i>
Total (%)	11,1	27,8	38,9	22,2

Parmi les 6 services offerts par la flore, la nourriture et la pharmacopée traditionnelle sont les moins fréquentes, soit 9% pour chacun. Les services fourragers et énergétiques sont similaires avec 16 %. Les services floristiques pour la construction et la fabrication des mobiliers sont les plus prisés avec 29 et 21% (figure 88).

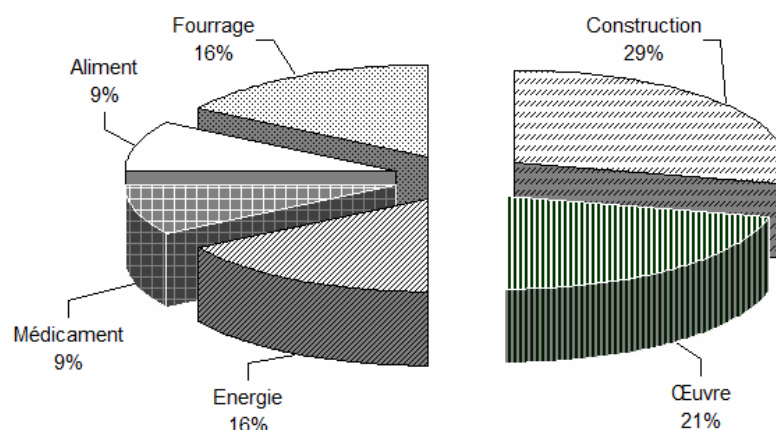


Figure 88-Répartition des services sociaux de la flore

Etant donné que pour la plupart des cas, ce n'est pas la plante dans son ensemble qui est exploitée, on a procédé à un diagnostic complémentaire qui a permis d'identifier les organes végétaux les plus utilisés pour pouvoir se faire davantage d'idées sur la vulnérabilité de chaque plante.

La figure ci-dessous illustre que l'intérêt local est focalisé sur l'exploitation du tronc, des tiges/branches avec une portion respective de 30%. L'usage des feuilles occupe le second plan ; leur valeur sociale est estimée à 28 %. Quant à la consommation des fruits, racines et écorces, elle est relativement faible si on la compare avec celle des autres organes végétaux précédemment cités (*figure 89*).

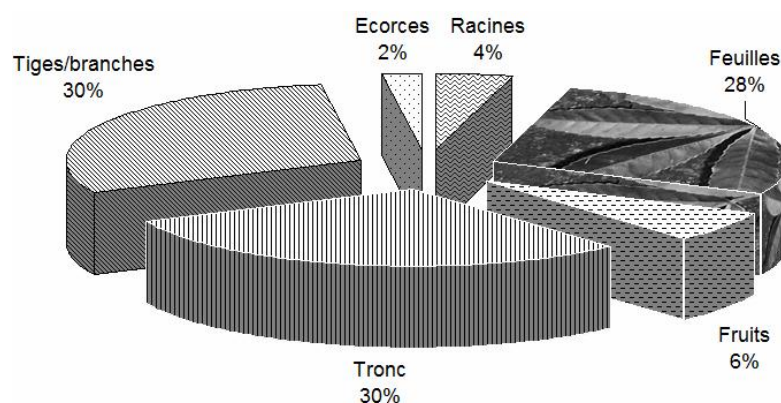


Figure 89- Répartition des services floristiques par organe végétal

Cette évaluation des valeurs floristiques par nombre de services et par organe permettent d'orienter les efforts qui doivent être engagés dans les reboisements :

- ils doivent tenir compte en priorité des espèces caractérisées par les services supérieurs ;
- et privilégier les espèces ligneuses aux troncs élancés d'utilité sociale.

Le tableau 24 récapitule les espèces retenues après l'enquête ethno-botanique, leur utilité socio-économique et culturelle, le nombre de services qu'elles offrent et leur Indice d'Utilisation.

Tableau 24-Description récapitulative des valeurs potentielles de la flore

Nom local	Nom scientifique	Usages socio-économiques et culturelles	IU	NS
Mbambou	<i>Bambusa vulgaris</i>	Construction, énergie	16,7	2
Pouzi (Vaibé)	(Indét.)	Alimentation (thé), fourrage	33,3	2
Mhonko	(Indét.)	Construction, œuvre, énergie	16,7	3
Mkambé	<i>Impatiens nomenyae</i>	Fourrage, médicament et magie	16,7	3
Mrobwe	<i>Ocotea comorensis</i>	Construction, œuvre, médicament	66,7	3
Mvovo mtrou	<i>Areca catechu</i>	Construction, énergie, consommation	16,7	3
Mpouera wachizungu	<i>Eugenia zamboza</i>	Construction (en gaulette), alimentation, énergie	16,7	3
Mzechumbu	<i>Ficus pyrifolia</i>	Energie, construction, œuvre (si tronc droit), fourrage	16,7	4
Chihi	<i>Ficus sp.</i>	Construction, œuvre, énergie, fourrage	33,3	4
Mfouantsi (Murimossi)	<i>Chrisophyllum boivini</i>	Construction, œuvre, énergie, médicament	16,7	4
Mpapa	<i>Anthocleista grandiflora</i>	Construction, œuvre, énergie, fourrage	33,3	4
Mtrondro	<i>Khaya comorensis</i>	Construction, œuvre, alimentation (thé), médicament	66,7	4
Troha	<i>Tambourissa kirkii</i>	Construction, œuvre (Ex : tambour), énergie, médicament	50	4
Vouvou	<i>Ficus lutea</i>	Construction, œuvre (Ex : mortier), énergie, fourrage	50	4
Mhamba	<i>Aphloia theaeformis</i>	Œuvre (parfois), énergie, alimentation (thé), médicament, fourrage	50	5
Mrondra ntolé	<i>Phyllanthus pervilleanus</i>	Construction, œuvre (si tronc droit), énergie, médicament, fourrage	33,3	5
Mselelé	<i>Brachylaena ramiflora</i>	Construction, œuvre, énergie, production du feu, fourrage	66,7	5
Murimoundra	<i>Weinmannia comorensis</i>	Construction, œuvre, énergie, médicament, fourrage	66,7	5

Source : Nourddine MIRHANI

Bref, il est à remarquer dans le tableau ci-dessus que trois des quatre espèces les plus utilisées ou les plus connues (indice d'utilisation le plus élevé) offrent également les nombres de services socio-économiques et culturel les plus élevés, passant de 4 à 5. Il s'agit de *Brachylaena ramiflora*, *Khaya comorensis* et *Weinmannia comorensis*. On trouve cependant une autre plante dont le nombre de services est moyen (3) mais dont l'Indice d'Utilisation reste supérieure (66,7) : *Ocotea comorensis* (*Mrobwe*). Il semble donc que le choix fait par les enquêtés sur les plantes les plus utiles soit associé à la qualité et à la quantité de services fournis. On estime que plus la diversité et la qualité de services sont importantes, plus l'espèce est connue et donc utilisée ; ce qui la rend très vulnérable à l'action anthropique. Mais pour apprécier cette vulnérabilité, il convient de chercher à connaître le statut biogéographique de chaque espèce ; c'est-à-dire ses limites d'extension.

V.4.3- Les statuts phytogéographiques des espèces d'utilité sociale

Rappelons que la géographie botanique comorienne est dans ses débuts de documentation. Après les travaux de Labat *et al.* [2006] qui répertorient les espèces floristiques recensées depuis les années 1800 jusqu'en 2006 conservées au MNHN de Paris,

se sont succédées les recherches de Daroussi [2006] à Anjouan, Andiliyat [2007] en Grande-Comore, Anli [2008] à Mohéli, etc. En 2009, un Inventaire Forestier National a été mené par une équipe de l'Université des Comores mais les résultats ne sont pas encore publiés. Les spécimens collectés sont répertoriés et conservés à l'Herbier des Comores (HDC). En complément des bases de données botaniques des sites web de TROPICOS, JSTOR, MNHN et CBNM⁵¹, nous allons faire une comparaison des listes floristiques issues des recherches susdites avec celle de nos relevés. L'objectif est de connaître l'aire de répartition géographique des espèces d'utilité sociale retenues lors de l'enquête à l'échelle du bassin versant, des Comores et d'autres pays du monde.

Sur les 18 espèces utiles réparties à l'échelle des bassins versants étudiés (*tableau 24*), *Ficus sp.*, *Khaya comorensis* et *Bambusa vulgaris* ont comme « aire » de distribution « réelle et précise »⁵² (aire occupée par ces taxons) ou préférentielle les rives des cours d'eau et « aire » de répartition « possible »⁵³ (aire d'occupation possible de ces taxons) la forêt dense humide de moyenne altitude selon les observations et les témoignages. Pour *Eugenia jambosa*, il est confirmé que son amplitude écologique est limitée aux fonds des vallées sur sable grossiers ou caillouteux. Comme toute formation riveraine des cours d'eau, la répartition de ces quatre espèces est tributaire des conditions pédologiques ; les sols humides constituent leur substrat préférentiel. Les autres espèces, dont *Ficus pyrifolia*, *Chrisophyllum boivini*, *Anthocleista grandiflora*, *Tambourissa kirkii*, etc. se développent généralement sur les versants comme dans les fonds de vallées. Si ces différentes formes de la topographie locale ne semblent pas constituer un facteur limitant leur extension, il n'en est pas de même pour le potentiel biologique de la terre. Il est dans ce cas indispensable avant tout projet d'aménagement d'étudier ce potentiel et de vérifier qu'il correspond aux exigences des espèces forestières à installer [Ffolliott *et al.*, 1986].

Pour permettre une évaluation de la vulnérabilité phytogéographique de chaque espèce, il convient de sortir de la grande échelle locale du micro-relief et remonter à celle de l'archipel des Comores et d'autres régions tropicales en établissant une comparaison entre les listes floristiques. Sans comptabiliser les plantes indéterminées (*Pouzi*, *Mhonko* et *Chihi*), il en résulte que sur les 15 espèces relevées Anjouan, 60 % se trouvent également à Mohéli, 53 % en Grande-Comore et 40 % à Mayotte (*tableau 25*). *Ocotea comoriensis*, *Khaya*

⁵¹ - Missouri Botanical Garden : <http://www.tropicos.org>

- Journal Storage : <http://plants.jstor.org>

- Muséum National d'Histoire Naturelle : <http://science.mnhn.fr>

- Conservatoire Botanique National de Mascarin : <http://floremaore.cbnm.org>

⁵² Termes employés par CARLES J. [1963]

⁵³ *Ibidem*. 16

comorensis, *Weinmannia comorensis*, et *Tambourissa kirkii* sont endémiques des Comores. La distribution de la première espèce concerne les quatre îles de l'archipel alors que la seconde et la troisième n'ont été récoltées qu'à Mohéli, en Grande-Comore et à Anjouan. Quant à la quatrième, elle n'a été observée qu'à Anjouan. A ces quatre espèces endémiques uniques viennent s'ajouter *Phyllanthus pervilleanus* et *Chrysophyllum boivinianum* (*Gambeya boiviniana*) dont l'endémisme est partagé entre l'archipel des Comores et Madagascar si l'on se réfère à l'index floristique de CBNM. Observées dans d'autres régions du monde, les espèces indigènes aux Comores sont représentées par *Brachylaena ramiflora*, *Impatiens nomenyae* et *Ficus pyrifolia* récolté surtout à Madagascar ; *Ficus lutea* largement réparti à Madagascar, au Ghana, au Gabon, en Angola, au Mozambique, aux Seychelles, au Cap-Vert etc. ; *Anthocleista grandiflora* présent dans de nombreux pays de l'Afrique pour ne citer que l'Afrique du Sud, le Swaziland, le Kenya, la Namibie, le Malawi, le Zanzibar, etc., et enfin, *Aphloia theaeformis* (*Aphloia theiformis*) est observé à Madagascar, à Maurice, aux Seychelles, en Afrique du Sud, etc. Originaires de l'Asie, *Bambusa vulgaris* et *Areca catechu* font partie des plantes exotiques aux Comores. *Eugenia jambos* (*Syzygium jambos*) serait une espèce exotique naturalisée.

Il est à noter que la plupart des espèces d'utilité sociale enregistrées lors de l'enquête s'étendent à la fois sur les versants et dans les fonds des vallées qui sont deux milieux topographiquement différents. Cette réalité, bien qu'elle soit générale, peut aider les aménageurs à prendre des décisions relatives à la distribution locale de certaines espèces floristiques lors de reboisements. A l'échelle de l'archipel, il existe une forte similarité floristique entre les quatre îles. Les espèces les plus convoitées (*Brachylaena ramiflora*, *Khaya comorensis*, *Weinmannia comorensis* et *Ocotea comorensis*) caractérisées par un nombre de services supérieur et moyen à Anjouan, sont également observées dans les forêts denses humides de Mohéli, de Grande-Comore, voire de Mayotte. Le fait que ces espèces ne soient pas cantonnées uniquement dans les forêts anjouanaises, réduit la probabilité de leur extinction à l'échelle de l'archipel. Mais étant endémiques des Comores, elles restent toutefois les plus vulnérables car elles ne peuvent être trouvées nulle part contrairement aux espèces indigènes. Cet endémisme, à la fois patrimoine scientifique, économique et culturel, mérite une attention particulière.

Tableau 25- Distribution des quelques espèces d'utilité sociale dans l'archipel des Comores

Espèces		Anjouan	Mohéli	G-Comore	Mayotte	Statut
Nom local	Nom scientifique					
Mbambou	<i>Bambusa vulgaris</i>	x	x	?	x	Exot.
Mzechumbu	<i>Ficus pyrifolia</i>	x	x	x		Indig.
Pouzi (Vaibé)	<i>Indét.</i>	x	?	?	?	?
Mhonko	<i>Indét.</i>	x	?	?	?	?
Mkambé	<i>Impatiens nomenyae</i>	x	x	x		Indig.
Mrobwe	<i>Ocotea comorensis</i>	x	x	x	x	End.
Mvovo mtrou	<i>Areca catechu</i>	x	x	x	x	Exot.
Mpouera wachizungu	<i>Eugenia jambosa</i>	x	x	x	x	Exot.
Chihi	<i>Ficus sp.</i>	x	?	?	?	Indig.
Mfouantsi (Murimossi)	<i>Chrisophyllum boivini</i>	x	x	x	x	End. C & M
Mpapa	<i>Anthocleista grandiflora</i>	x	x	x	x	Indig.
Mtrondro	<i>Khaya comorensis</i>	x	x	x		End.
Troha	<i>Tambourissa kirkii</i>	x				End.
Vouvou	<i>Ficus lutea</i>	x	x	x	x	Indig.
Mhamba	<i>Aphloia theaeformis</i>	x	x	x	x	Indig.
Mroundrantolé	<i>Phyllanthus pervilleanus</i>	x	x	x	x	End. C & M
Mselelé	<i>Brachylaena ramiflora</i>	x	x	x		Indig.
Murimoundra (Mtringutringu)	<i>Weinmannia comorensis</i>	x	x	x		End.

Exot. : Exotique ; Indig. : Indigène ; End. : Endémique ; C : Comores ; M : Madagascar ; ? : Données manquantes

V.4.4- Une évaluation de la vulnérabilité des espèces d'utilité sociale

Disposé par ordre décroissant dans le tableau 26, le total des scores permet d'identifier le degré de vulnérabilité global de chaque espèce. De haut en bas, la valeur totale des scores attribuée aux espèces diminue ; elle passe d'une vulnérabilité élevée (9) à faible (3). Les espèces ayant un total de scores de vulnérabilité similaire sont classées en catégories qui passent de 1 pour les plus vulnérables à 6 pour celles de faible vulnérabilité.

Du fait de leur importance sociale et de leur endémisme, *Khaya comorensis*, *Weinmannia comorensis* et *Ocotea comorensis* occupent le premier rang dans la catégorie 1 d'espèces prioritaires pour la reforestation et la gestion, leur code de vulnérabilité étant le plus élevé. Elles sont suivies de *Brachylaena ramiflora*, *Tambourissa kirkii* et *Phyllanthus pervilleanus* dont le code est huit. La troisième catégorie est représentée par cinq espèces qui sont majoritairement indigènes et d'utilité moyenne : *Ficus lutea*, *Anthocleista grandiflora*, *Ficus sp.*, *Aphloia theaeformis*, etc. Faiblement utilisées, les espèces exotiques ont le code de vulnérabilité le plus faible.

Tableau 26-Evaluation de la vulnérabilité des espèces d'utilité sociale

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Utilisation	Scores	Organe Exploité	Scores	Statut phyto-géographique	Scores	Total scores vulnérabilité	Catégories ⁵⁴
<i>Mtrondro</i>	<i>Khaya comorensis</i>	Fort	3	Tronc	3	Endémique	3	9	1
<i>Murimoundra</i>	<i>Weinmannia comorensis</i>	Fort	3	Tronc	3	Endémique	3	9	
<i>Mrobwe</i>	<i>Ocotea comorensis</i>	Fort	3	Tronc	3	Endémique	3	9	
<i>Mselelé</i>	<i>Brachylaena ramiflora</i>	Fort	3	Tronc	3	Indigène	2	8	2
<i>Troha</i>	<i>Tambourissa kirkii</i>	Moyen	2	Tronc	3	Endémique	3	8	
<i>Mrondra ntsolé</i>	<i>Phyllanthus pervilleanus</i>	Moyen	2	Tronc	3	Endémique	3	8	
<i>Vouvou</i>	<i>Ficus lutea</i>	Moyen	2	Tronc	3	Indigène	2	7	3
<i>Mpapa</i>	<i>Anthocleista grandiflora</i>	Moyen	2	Tronc	3	Indigène	2	7	
<i>Chihi</i>	<i>Ficus sp.</i>	Moyen	2	Tronc	3	Indigène	2	7	
<i>Mhamba</i>	<i>Aphloia theaeformis</i>	Moyen	2	Tronc	3	Indigène	2	7	
<i>Mfouantsi (Muri mossi)</i>	<i>Chrisophyllum boivini</i>	Faible	1	Tronc	3	Endémique	3	7	
<i>Mzechumbu</i>	<i>Ficus pyrifolia</i>	Faible	1	Tronc	3	Indigène	2	6	4
<i>Mkambé</i>	<i>Impatiens nomenyae</i>	Faible	1	Tronc	3	Indigène	2	6	
<i>Mvovo mtrou</i>	<i>Areca catechu</i>	Faible	1	Tronc	3	Exotique	1	5	5
<i>Mbambou</i>	<i>Bambusa vulgaris</i>	Faible	1	Tronc	3	Exotique	1	5	
<i>Mpouera wachizungu</i>	<i>Eugenia jambosa</i>	Faible	1	Fruits	1	Exotique	1	3	6
<i>Mhonko</i>	<i>Indét.</i>	Faible	1	Tronc	3	?	?	?	?
<i>Pouzi (Vaibé)</i>	<i>Indét.</i>	Moyen	2	Feuilles	1	?	?	?	?

Nota : Les **scores** 3, 2 et 1 signifient respectivement : vulnérabilité élevée, moyenne et faible

La méthode d'évaluation de vulnérabilité mise en œuvre est dans ses débuts d'expérimentation et nécessite d'être améliorée et affinée. Mais les premiers résultats peuvent déjà faire l'objet d'une confrontation et de discussions avec une étude réalisée par Daroussi [2006] à Anjouan. L'auteur a utilisé les critères de l'UICN pour définir le statut de quelques espèces d'utilité sociale de la forêt de mont Ntringui à Anjouan.

Après une analyse de l'Indice d'Utilisation des Espèces, comme nous l'avons fait, Daroussi a identifié cinq espèces comme étant les plus utilisées et les plus connues par la population :

- *Khaya comorensis*,
- *Weinmannia comorensis*,
- *Ocotea comorensis*,
- *Brachylaena ramiflora*,
- *Calophyllum sp.*

Excepté *Calophyllum sp.*, les quatre espèces sur les cinq retenues par Daroussi [2006] figurent parmi les 18 taxons d'utilité sociale enregistrés lors de notre enquête avec l'Indice d'Utilisation le plus élevé signifiant qu'elles sont également les plus utilisées et les plus

⁵⁴ Dans le tableau, nous sommes parti de la catégorie 1 pour désigner les espèces les plus vulnérables à la catégorie 6 pour les moins vulnérables. L'objectif était de montrer que le nombre de catégories n'est pas limité ; il peut aller au-delà de 6 selon les données traitées. Mais cette classification par catégorie peut être inversée ; c'est-à-dire de 6 pour les espèces les plus vulnérables à 1 pour les moins vulnérables.

connues. Selon Daroussi, ces cinq espèces sont en danger critique d'extinction (CR) d'après les critères de l'UICN. Suivant notre méthode, elles appartiennent aux catégories 1 et 2 correspondant aux taxons les plus vulnérables. Bien que les deux approches adoptent des entrées différentes pour définir le statut des taxons, l'une naturaliste s'appuyant sur des relevés botaniques et l'autre sociale se focalisant sur des enquêtes ethno-botaniques et une documentation phytogéographique sans contact avec l'espèce, les résultats obtenus sont convergents. Les tableaux 26 et 27 affichent les critères utilisés par les deux méthodes ainsi que les résultats obtenus.

Tableau 27- Evaluation des risques d'extinction des espèces selon les critères de l'UICN

Espèces	<i>Khaya comorensis</i>	<i>Weinmannia comorensis</i>	<i>Ocotea comorensis</i>	<i>Brachylaena ramiflora</i>	<i>Calophyllum sp.</i>
Abondance (individus/ha)	34830	14740	6930	6080	690
Régénération	Mauvaise	Bonne	Bonne	Mauvaise	Mauvaise
Utilisation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Tolérance à la perturbation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Perte de l'habitat	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Zone d'occurrence (km²)	5,29	1,84	3,16	0,53	0,05
Zone d'occupation (km²)	3,03	1,84	3,16	0,40	0,02
Nombre de sous-populations	1	1	1	1	1
Déclin futur (%)	100	100	100	100	100
Statut suggéré	CR/ A1,B1a, B2a	CR/ A1,B1a, B2a	CR/ A1,B1a, B2a	CR/ A1,B1a, B2a	CR/ A1,B1a, B2a

Source : DAROUSSI [2006]

Le statut suggéré à la dernière ligne du tableau 27 montre que Daroussi [2006] s'est référé aux critères A et B sur les cinq (A, B, C, D et E) « utilisés pour évaluer l'appartenance d'un taxon à l'une des catégories du groupe « menacé » de la Liste Rouge de l'UICN (en danger critique – CR, en danger – EN ou vulnérable – VU) » [UICN, 2012]. Le A (réparti en A1, A2, A3 et A4) concerne la réduction des effectifs de la population et le B (réparti en B1 et B2) leur répartition géographique.

Le statut CR/A1, B1a, B2a a été attribué aux cinq espèces selon les critères :

- (A1) La réduction de leurs effectifs depuis 10 ans est supérieure à 90 % ;
- (B1) Leur zone d'occurrence est inférieure à 100 km² ;
- (B2) Leur zone d'occupation est inférieure à 10 km² ;
- Avec les conditions suivantes :

(a) La population n'est présente que dans une seule localité (massif central) ;

(b) Déclin de la population prédit à 100 %. A ce moment-là, il a été justifié par l'exploitation sélective et la réduction de la zone d'occupation des espèces en l'absence d'une Aire Protégée. Celle-ci a actuellement fait l'objet d'une délimitation. Le déclin prévu pourrait être revu à la baisse si la réglementation dans le sanctuaire naturel du massif Ntringui est respectée : interdiction de mettre le feu, de jeter tout matériel non dégradable, d'abattre un arbre, d'utiliser une tronçonneuse et enfin de pratiquer la culture-sous forêt. Pour tout détail, nous renvoyons le lecteur à la publication de l'UICN [2012] intitulé : *Catégories et Critères de la Liste rouge de l'UICN*.

Les deux approches fournissent une double information : le statut de l'espèce est analysé suivant une entrée sociale en rapport avec les usages et une entrée écologique qui privilégie l'effectif des individus, leur répartition et leur déclin dans le milieu naturel. Elles peuvent être complémentaires pour répondre à la fois aux aspirations sociales et écologiques des aménagements en zone forestière. En croisant les deux méthodes, il ressort que les espèces les plus utilisées, les plus vulnérables (selon l'approche sociale) et en danger critique d'extinction (selon les critères de l'UICN) sont *Khaya comoriensis*, *Weinmannia comoriensis*, *Ocotea comoriensis* et *Brachylaena ramiflora* (photo 71 - a, b, c & d).



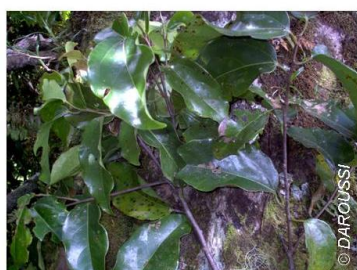
(a) Tronc et feuilles de ***Khaya comorensis***



(b) Tronc et feuilles de ***Weinmannia comorensis***



(c) Tronc et feuilles de ***Ocotea comorensis***



(d) Tronc et feuilles de ***Brachylaena ramiflora***



Photo 71-Espèces de forte potentialité socio-économique mais en danger critique

Chapitre VI. La perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants : mythe et réalité, sensibilité des milieux et modèle d'aménagement

Les facteurs de la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants ont été identifiés au chapitre IV à travers la dynamique d'évolution des composantes géosystémiques (naturelles et anthropiques). Au chapitre V, il a été question d'analyser les différents regards des groupes fonctionnels de la société sur certaines de ces composantes géosystémiques. Ce présent chapitre a pour objectif d'envisager comment s'appuyer sur ces connaissances pour la recherche d'une solution à la problématique de l'eau. Pour ce faire, nous allons d'abord procéder à une analyse critique du rôle des différentes composantes dans la dégradation du fonctionnement hydrologique. L'objectif est de prendre du recul par rapport aux idées reçues et clarifier certains points à ce sujet. Cela nous permettra de définir le plus objectivement possible les critères de sensibilité des milieux physiques aux risques naturels pour pouvoir établir un modèle d'aménagement s'appuyant sur ces résultats scientifiques et les spécificités sociales du terrain.

VI.1- La perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants à Anjouan : mythe et réalité

VI.1.1- Un regard critique sur la terminologie « assèchement »

L'expression « assèchement » couramment utilisée dans les rapports institutionnels (FAO, Ministère de l'Environnement, COI, etc.) pour désigner l'état des cours d'eau d'Anjouan mérite d'être discutée. Réellement, Anjouan est une île tropicale humide qui reçoit en moyenne 1789 mm de précipitations d'après les statistiques issues d'interpolation de WorldClim (1950-2000) (*cf. I.3.3 de chapitre I*). Les relevés du terrain ont confirmé que les moyennes annuelles dépassent largement 2500 mm dans de nombreuses localités de l'île. Le diagramme ombrothermique de Gaussen affiche qu'il n'existe pratiquement pas de saison sèche à Anjouan (*cf. figures 16 & 17 de chapitre I*). D'après la classification ombrothermique de Rivas-Martinez, l'île connaît 8 mois dont 3 ultrahumides, 2 hyper humides et 3 humides suivis de 4 mois secs mais qui sont loin d'être ceux d'un climat semi-aride. En comparaison, les quatre mois considérés comme secs à Anjouan enregistrent 201 mm alors que les neuf mois secs de Toliara (Sud-Ouest malgache) ne totalisent que 121,9 mm de précipitations

(1975-2004)⁵⁵. C'est dans ces milieux moins pluvieux avec une longue saison sèche que l'emploi de la terminologie « assèchement des cours d'eau » peut être justifiée. Pour Anjouan, nous préférons parler d'une « perturbation » ou d'une « dégradation » ou d'une « situation de déséquilibre », voire de « déficit » hydrologique. A la limite, ce dernier terme ne peut concerner que les eaux courantes de surface car les nappes aquifères de l'île ne sont pas encore exploitées.

VI.1.2- La perturbation du régime hydrologique : un fait avéré

La perturbation du fonctionnement hydrologique à Anjouan est un fait avéré. Le passage des cours d'eau permanents à un fonctionnement saisonnier, les décapages et les mouvements de masse liés aux excès hydrologiques, les ravages causés par les crues, sont une réalité incontestable aux yeux des riverains et des institutionnels. Cependant la quantification des phénomènes reste incomplète en raison du manque de mesures de débits permettant de faire un suivi diachronique dans l'espace et dans le temps. Certains auteurs avancent des chiffres sans fournir de détails sur les sources d'informations. D'autres précisent avoir eu recours à des témoignages, à des constatations ou à des cartes anciennes. D'après ces auteurs, pour la même année 1950, les écoulements pérennes étaient au nombre de 45 [DGE, 1993]⁵⁶, 49 [Frenken, 2005], 54 [Labat *et al.*, 2006] et 64 si nous nous référons à la carte topographique de l'I.G.N. de 1955. Dans la période de 1990 à 2012, le nombre de cours d'eau pérennes est estimé de 19 à 10 [Astudillo, 2012b]. Même si leur quantification manque d'exactitude, ces auteurs partagent le même point de vue. La perturbation des systèmes hydrologiques d'Anjouan n'est pas à discuter.

A l'échelle du bassin versant Ouzini-Ajaho, les écoulements superficiels sont discontinus d'une section à l'autre. En amont, à 600 m d'altitude, ils duraient 3 à 4 jours après les pluies il y a 30 ans. Aucun témoignage ne précise que cette section amont de la rivière était permanente. Dans les années 1990, en aval, les écoulements aux environs du chef-lieu de la commune de Ngandzale sont passés d'un régime permanent à un régime temporaire avant de reprendre leur état antérieur dans les années 2000 selon des informateurs locaux. La situation est complètement différente dans le bassin versant Lingoni-Pomoni. Depuis l'amont jusqu'à l'aval, le petit fleuve dispose d'un flux continu mais qui voit son débit et son niveau baisser en fonction des périodes pluvieuses.

⁵⁵ Sources : Statistiques de la Direction des Exploitations Météorologiques (Tananarive), traitement réalisé par N. MIRHANI.

⁵⁶ La DGE (Direction Générale de l'Environnement) précisait : « Des informations non vérifiées font état d'une réduction du nombre de cours d'eau permanents de 45 à 19 entre 1950 et 1990 »

Bien que les cours d'eau manifestent des tendances à la diminution des débits, une augmentation de l'agressivité des crues a été constatée par des paysans ces 30 dernières années. La plupart de riverains et des institutionnels attribuent cette situation à la déforestation.

VI.1.3- Le mythe et la réalité du rôle de la déforestation sur l'eau

A travers les sensibilisations médiatiques, les discours politiques et même la littérature scientifique, la déforestation est pointée comme la raison principale de tous les maux aux Comores, plus particulièrement à Anjouan (1) de la diminution des précipitations locales, (2) de l'« assèchement » des cours d'eau et (3) des mouvements de masse et de décapage. Sans vouloir mettre en cause ces affirmations parfois exagérées, nous essayons d'ouvrir des discussions sur le sujet pour éclairer certains points :

- Cas (1) – **Forêt et précipitations** : la plupart des études avancent qu'il n'y a aucune preuve scientifique que la déforestation soit une cause significative du changement des tendances pluviométriques à proximité des zones concernées [Calder, 1999 ; cité par Brand *et al.*, 2003]. Autrement dit, des recherches menées en milieu tropical humide ont généralement conduit à la conclusion que la forêt n'a pas de conséquence sur la pluviométrie locale ; ce qui peut ne pas être vrai pour des surfaces beaucoup plus grandes [Cosandey, 2006]. Dans des conditions humides, les forêts présentent un taux de perte d'eau par interception plus important que les sols couverts de cultures denses, du fait principalement de la résistance aérodynamique de la surface forestière qui augmente le déplacement de vapeur d'eau [Calder, 2005]. Ce dernier affirme que les rares exceptions sont les forêts de nuages, où le dépôt de l'eau peut être supérieur aux pertes par interception.

Les forêts de nuages pourraient constituer une exception. La contribution des forêts de nuages représente généralement 5 à 20 % des précipitations en région tropicale humide [Bruijnzeel, 2004 ; cité par Charmoille, 2013a]. A Anjouan, ces forêts continuent d'être transformées en cultures (bananiers associés au taro, girofliers, etc.) qui n'ont théoriquement pas les spécificités d'interception des précipitations occultes. Si l'affirmation selon laquelle les forêts de nuages contribuent à apporter des précipitations se confirme, elle ne justifiera que partiellement les tendances diminutives des précipitations mises en évidence pendant les 30 ans d'observations de 1981 à 2010 à la station de l'aérodrome de Ouani à Anjouan. Ce rythme d'évolution régressive des précipitations coïncide avec la disparition progressive des lambeaux de forêt des nuages cartographiés en 1955 sur les versants de cette localité. Sous réserve, on doit toutefois rappeler que la quantité importante des précipitations enregistrées à

Anjouan est d'origine orographique ; l'apport de ces anciens lambeaux forestiers en termes d'interception aurait été négligeable. Même si l'on ne peut totalement écarter la possibilité que le changement d'utilisation des terres modifie la configuration des pluies, les facteurs naturels (et probablement le changement climatique) ont des conséquences beaucoup plus importantes [FAO, 2008].

- Cas (2) – **Forêt et cours d'eau** : Les médias, les ONG, les responsables gouvernementaux et certains scientifiques ont souvent convaincu l'opinion publique que la déforestation est l'une des principales causes de la modification des régimes hydriques car elle provoque une augmentation des inondations et une diminution du débit des cours d'eau en période sèche [FAO, 2008]. A Anjouan, il suffit de poser la question à des paysans. Nombreux répondront que la déforestation en est la cause. Cette affirmation est également partagée par Astudillo [2012b] qui précise qu'il est difficile de discerner comment les paysans sont arrivés à ces conclusions. En réalité, il ne s'agit que d'idées reçues par sensibilisations menées par des « prédicateurs » de l'environnement sans preuve scientifique concrète. Il n'y a actuellement pas de consensus scientifique sur les effets de la déforestation ou du reboisement sur les ressources en eaux aussi bien d'un point de vue quantitatif que qualitatif [Charmoille, 2013a]. D'après cet auteur, l'affirmation selon laquelle « *en période d'étiage, les racines des arbres libéraient de l'eau après l'avoir stockée durant les phases plus humides* » fait partie des idées reçues et erronées encore présentes dans l'inconscient collectif. Selon lui, des études récentes montrent que les racines devraient être comparées à une pompe plutôt qu'à une éponge. Elles retirent l'eau du sol durant la saison sèche. Bien sûr, la saison sèche n'est pas marquée à Anjouan. Mais les tendances à la hausse des températures (*cf. IV.1.1 de chapitre IV*) vont accroître l'évaporation et par conséquent, les besoins en eau des essences forestières. Or, il est déjà démontré que « la plupart des forêts évaporent considérablement plus d'eau qu'une végétation basse et réduisent le volume d'eau nécessaire à la réalimentation des aquifères ou à l'approvisionnement des rivières » [Calder, 2003, cité par FAO, 2008]. L'opinion répandue selon laquelle « un plus grand nombre d'arbres équivaut à un plus grand volume d'eau dans un bassin versant » est une idée erronée dans de nombreux pays. Il est très important de clarifier cette question, en particulier lorsqu'il existe des marchés pour les services environnementaux [FAO, 2008].

- Cas (3) – **Forêt, mouvements de masse⁵⁷ et décapage⁵⁸** : L'action des racines sur les glissements de terrain en montagne n'est pas toujours facile à appréhender. La plupart des grands glissements ont une origine géologique et la forêt ne peut agir que sur les glissements superficiels [Drenou, 2006] qui sont ceux les plus souvent observés à Anjouan. En admettant que la forêt favorise les infiltrations, elle n'est cependant pas en mesure de bloquer les mouvements de masse lorsque la terre atteint ses limites de saturation suite à des pluies intenses. Selon Neboit [2010], aucun versant ne serait à l'abri des dégâts provoqués par des pluies catastrophiques, avec des pointes d'intensité très élevées. Cependant, dans les conditions météorologiques moins extrêmes, les versants forestiers tiennent mieux que les pentes cultivées. Sur les pentes, le système racinaire vertical des arbres peut pénétrer le sol meuble jusqu'aux couches inférieures plus stables, limitant ainsi les risques de glissements [Drenou, 2006]. Concernant les décapages, la forêt ombrophile fournit au sol une masse importante de matières végétales constituant une épaisse couche d'humus qui favorise l'infiltration [Chaperon *et al.*, 1995]. La plus grande partie de l'eau tombée s'infiltre dans les sols ; seule une infime fraction ruisselle [Neboit, 2010]. Pour cette raison, il est rare d'observer en milieu forestier des signes d'érosion.

Tous les auteurs s'accordent à dire que la forêt protège le sol contre d'éventuels décapages et mouvements de masse. Toutefois, ses capacités à assurer cette fonction sont limitées quand il s'agit de faire face à des précipitations extrêmes qui s'abattent sur les versants.

VI.1.4- Des ressources en eau face à la croissance démographique : mythe et réalité

Compte tenu de la faible superficie de 424 km² et du sous-développement économique d'Anjouan, l'évolution croissante de la population fait référence à la théorie néo-malthusienne. La force de leur argumentation réside dans les risques que fait peser la croissance de la population sur le système écologique [Chesnais, 1995]. Ce concept est répandu à Anjouan à travers les discours environnementalistes pour justifier la dégradation des ressources naturelles, y compris hydrologiques. Certes, la population a augmenté et les problèmes de ravitaillement en eau sont récurrents, tant en milieu urbain que rural, mais cela ne signifie pas

⁵⁷ **Les mouvements de masse** sont des déplacements de matériaux solides et/ou meubles le long d'une pente tels que chutes de pierres, éboulements, écroulements, glissements de terrain et ovaïles. Ils peuvent être rapides et subits ou lents et continus [Raetzo & Lateltin, 2003].

⁵⁸ **Le décapage** est l'enlèvement des horizons superficiels du sol par l'action érosive des ruissellements.

forcément un épuisement des ressources en eau. Précédemment, nous avons montré qu'Anjouan est une île tropicale humide qui reçoit suffisamment de précipitations et que ses nappes aquifères n'ont pas encore fait l'objet d'une exploitation. Ce n'est donc pas la ressource qui manque mais c'est la demande qui a augmenté. Le système de distribution n'est plus adapté à cette nouvelle demande suite à l'évolution galopante de la population et/ou au développement des villages à l'amont qui prélèvent la majorité du débit des cours d'eau en période sèche [Charmoille, 2013a]. Selon le même chercheur, ce ressenti de « manque d'eau » contribue à la mise en place d'une idée de « tarissement dans l'inconscience collective ».

Bien que les néo-malthusiens s'appuient sur des faits pour justifier leur théorie de la démographie, Chesnais [1995] précise que leurs craintes sur la dégradation ou l'épuisement des ressources n'ont pas toujours été justifiées, du moins dans le passé. Ainsi, un grand nombre d'organismes internationaux tels que l'UICN⁵⁹, la CMED⁶⁰, etc., admettent que la croissance démographique n'est plus la cause unique des problèmes environnementaux, mais elle contribue à l'accélération des processus de dégradation en cours [Locatelli, 2000]. A Anjouan, la démographie galopante est donc loin d'être le seul facteur de la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants. Mais nous admettons qu'elle a sa part de responsabilité sur les changements d'occupation des sols et d'utilisation des ressources.

Entre ces mythes et réalités, il ressort que toutes les composantes naturelles et anthropiques (forêt, précipitations, cours d'eau, population, etc.) agissent sur le sol. Celui-ci est par conséquent soumis aux risques de décapage et aux mouvements de masse ayant des impacts directs sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants.

VI.2- Les critères de sensibilité des milieux physiques

Ici, la sensibilité désigne la vulnérabilité des milieux physiques aux risques naturels : décapages, mouvements de masse et inondations. En fonction de la disponibilité et de la qualité des données, quatre critères ont été retenus : les précipitations, les pentes, le sol et leur occupation. Ce sont ces facteurs qui créent le risque qui peut, soit être faible, moyen ou élevé. Les seuils de cette classification s'appuient fondamentalement sur nos propres observations. L'ensemble de ces facteurs sera croisé, ce qui donnera au total la sensibilité potentielle du milieu physique.

⁵⁹ UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

⁶⁰ CMED : Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement

VI.2.1- La pluviométrie

Un gradient pluviométrique du littoral vers le centre d'Anjouan apparaît sur la carte des isohyètes (cf. II.1.2.2). En général, selon nos observations, les zones qui reçoivent plus de 2000 mm de précipitations localisées vers le centre, sont les plus sensibles aux risques environnementaux. A l'échelle des zones d'étude (*figure 90*), la totalité de la superficie du bassin versant Lingoni-Pomoni et la partie amont de celui d'Ouzini-Ajaho (soit 63 % de sa superficie totale) se trouvent très vulnérables aux effets des pluies diluviennes favorisant mouvements de masse et décapages. La sensibilité devient moyenne dans la localité de Salamani pour devenir faible à partir de celle de Ngandzalé jusqu'à la côte littorale. Elle concerne respectivement 21 % et 16 % de la superficie du bassin.

Tableau 28- Critères de sensibilité du bassin versant Ouzini-Ajaho aux précipitations

Pluviométrie (mm)	Sensibilité aux décapages et aux mouvements de masse	Superficie estimée (%)
< 1500	Faible	16
1500 ≤ P < 2000	Moyen	21
P ≥ 2000	Elevé	66

Un autre élément important à noter est que la sensibilité aux décapages et mouvements de masse n'est pas uniquement fonction des conditions pluviométriques. Ces dernières s'associent à la morphologie du relief de l'île qui définit la capacité érosive du climat. D'après les formules de Fournier, 1960 ; cité par BROUWERS [1973] (cf. I.2.4 de chapitre I), nous avons estimé le taux d'érosion à l'échelle insulaire et locale.

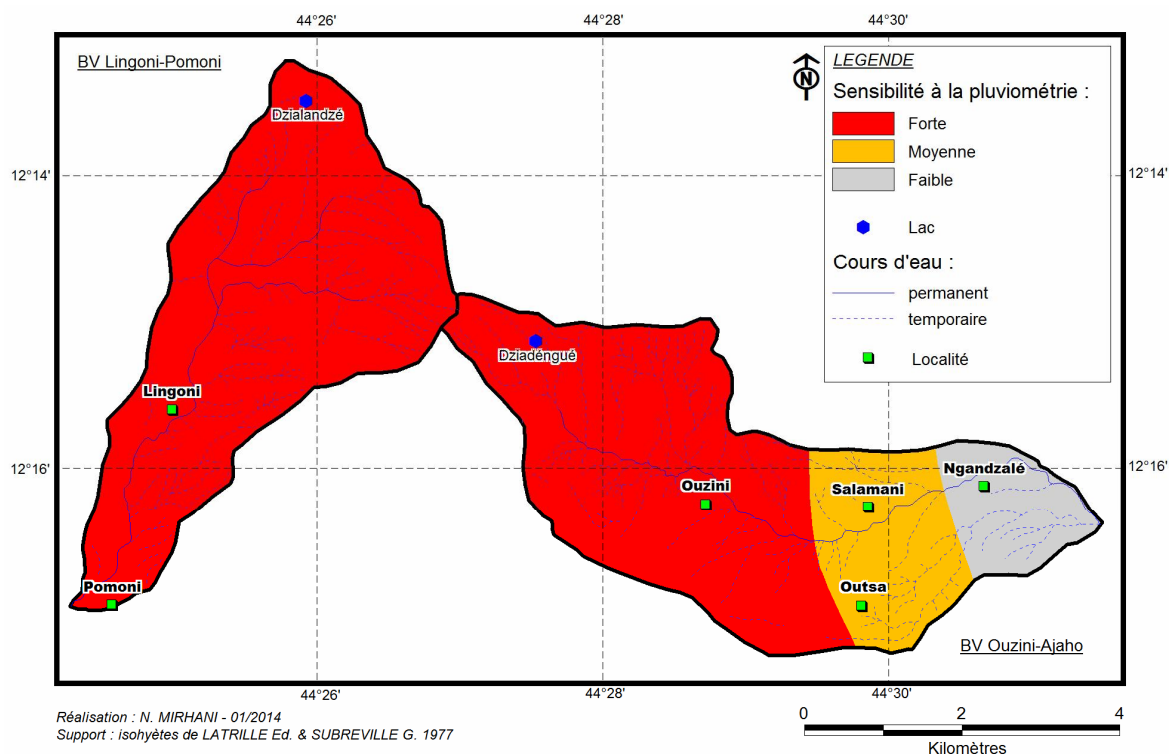
A l'échelle insulaire d'Anjouan :

- 3471 t/ha/an pour le relief accentué (vers l'amont des bassins versants) ;
- 1583 t/ha/an pour le relief peu accentué (vers l'aval des bassins versants).

A l'échelle locale d'Ouani :

- 2211 t/ha/an pour le relief accentué vers l'amont du bassin versant de Ouani ;
- 932 t/ha/an pour le relief peu accentué vers l'aval du bassin versant de Ouani.

Par rapport à l'échelle insulaire, le taux d'érosion est inférieur dans la localité de Ouani. Cela témoigne qu'il peut varier considérablement à l'échelle locale et que la topographie joue un rôle déterminant sur la morphogénèse vu l'intensité pluviométrique que connaît Anjouan.



VI.2.2- Les pentes et les sols

Les risques de décapage et mouvements de masse sont très importants sur les pentes supérieures ou égales à 45° . Dans ce contexte, les classes définies dans le tableau suivant illustrent que la proportion des superficies à risque élevé est légèrement supérieure dans le bassin versant Ouzini-Ajaho (15 %) par rapport au bassin versant Lingoni-Pomoni (12 %) (figure 91).

Tableau 29- Les pentes et leur sensibilité au risque de décapage et aux mouvements de masse

Classes de pentes ($^\circ$)	Type de drainage (1)	Sensibilité aux décapages et aux mouvements de masse	Pourcentage de la superficie au niveau du bassin versant	
			Lingoni - Pomoni	Ouzini-Ajaho
$0 < P < 13$	nul à moyen	Faible	25	10
$13 \leq P < 45$	moyen à rapide	Moyen	63	67
$P \geq 45$	Très rapide	Elevé	12	15

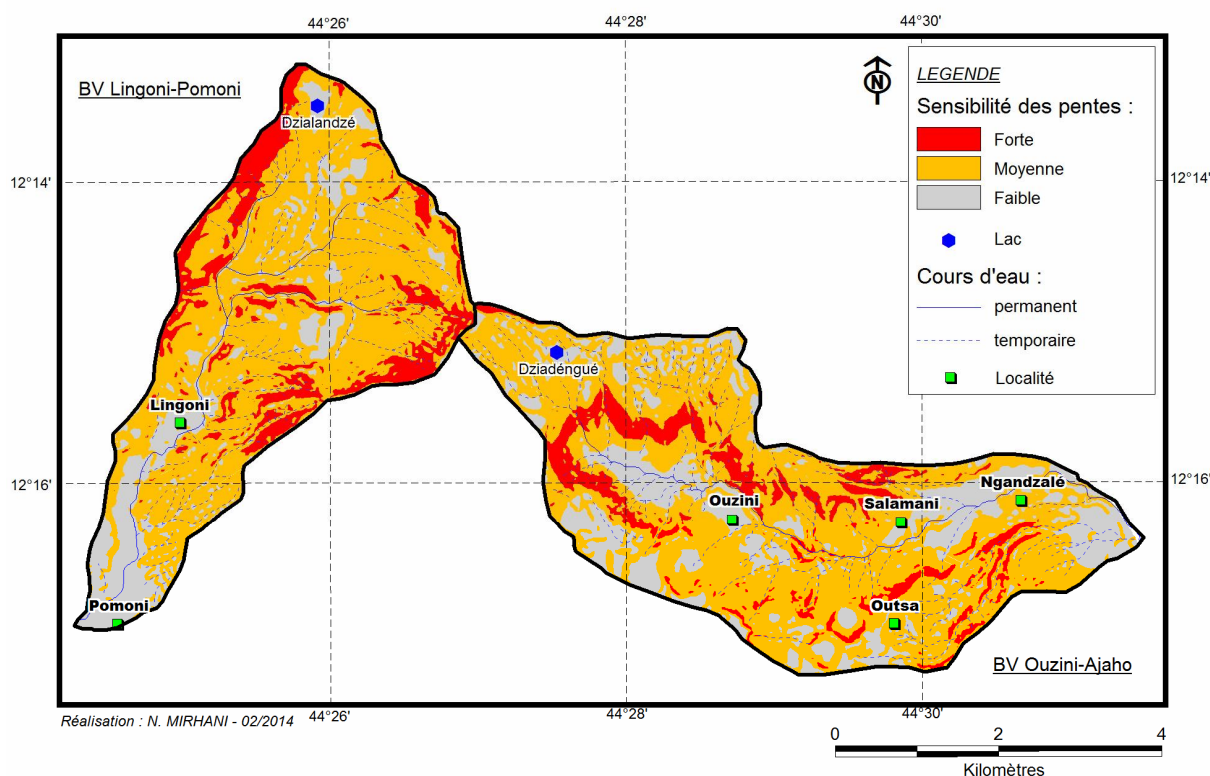


Figure 91- Sensibilité des pentes aux décapages et aux mouvements de masse

Ces seuils de pente sont nécessaires à connaître pour définir les types d'occupation des sols adéquats lors des aménagements, mais ils ne constituent pas une fin en soi. Selon Brouwers [1973], le degré de pente au-delà duquel on dépasse le seuil de décapage ou de mouvements de masse n'est pas constant. Ce seuil d'érodabilité dépend non seulement des caractéristiques pluviométriques mais surtout des propriétés physiques du sol ainsi que de son substratum : perméabilité, porosité, valeurs d'Atterberg⁶¹, épaisseur au-dessus d'un niveau perméable, etc. Malheureusement les rares documents à notre disposition ne fournissent que des informations limitées sur les types de sol et les processus de pédogénèse. L'enquête ethno-taxonomique apporte cependant quelques précisions sur les caractéristiques des sols. La classification paysanne en fait ressortir quatre types suivant leur sensibilité au décapage et/ou aux mouvements de masse :

- *Sagasy*, un sol de texture grossière d'une profondeur supérieure à un mètre. Par rapport aux autres, il se caractérise par une percolation rapide alors que sa capacité de rétention en eau est très limitée. Sa sensibilité aux risques de mouvements de masse est donc forte ;

⁶¹ Limite de plasticité et de liquidité

- *Dongo*, un sol argileux moyennement vulnérable car il a une apparence stable mais peut se liquéfier pour constituer des coulées argileuses une fois perturbé. La texture fine est moins filtrante mais favorise de ce fait les ruissellements, donc le décapage superficiel ;

- *Gnambé*, un sol très compact et difficile à travailler mais faiblement sensible à l'action mécanique de l'eau qu'elle soit liée aux infiltrations ou aux ruissellements ;

- *Trontro*, un sol riche en matière organique et de faible profondeur d'environ 20 cm. Ce type de sol subit moins l'érosion hydrique. La matière organique « joue le rôle de ciment qui maintient la structure du sol et le rend, par conséquent, plus perméable (Duchaufour, 1970 ; Neboit, 1991) à l'eau et plus résistant au choc des gouttes de pluie » [Hassan *et al.*, 2013].

La spatialisation des classes de sols en fonction des risques environnementaux n'a pas été possible en raison du défaut de données pédologiques adéquates. La classification paysanne facilite leur reconnaissance sur le terrain et constitue un atout à vulgariser pour pallier aux lacunes scientifiques.

VI.2.3- L'occupation des sols

A partir de la carte d'occupation des sols (*cf. figure 21*), nous avons défini trois classes de risques de décapage et de mouvements de masse. Le principe est que plus la densité de ligneux est importante, mieux ceux-ci recouvrent et fixent le sol. Ainsi, les sols saisonnièrement nus après les récoltes et avant le développement des végétaux, mais aussi entre les cultures, ou occupés par les bâtis sont les plus sensibles. Ils s'étendent sur 12 % du bassin versant Lingoni-Pomoni et 28 % de celui d'Ouzini-Ajaho. Les sols qui supportent les associations arborées claires y sont moyennement vulnérables. Tous les sites occupés par des formations arborées denses constituant la mosaïque forêt, agro-forêt/cultures sous-forêt et association arborée dense, sont de faible vulnérabilité ; la capacité de la végétation pour la protection du sol étant la plus efficace en comparaison aux autres types d'occupation du sol. Ces zones couvrent la proportion de superficies la plus importante des deux bassins versants, soit 46 % pour Lingoni-Pomoni et 35,7 % pour Ouzini-Ajaho (*tableau 30 & figure 92*).

Tableau 30-L'occupation des sols et sa sensibilité aux risques de décapage et mouvements de masse

Classes d'occupation des sols des bassins versants	Sensibilité aux décapages et mouvements de masse	Pourcentage de la superficie	
		Lingoni - Pomoni	Ouzini-Ajaho
- Forêt - Agro-forêt/ cultures sous-forêt - Association arborée dense	Faible	46	37
- Association arborée claire	Moyen	42	35
- Sol nu - Cultures vivrières - Zone d'habitations	Elevé	12	28

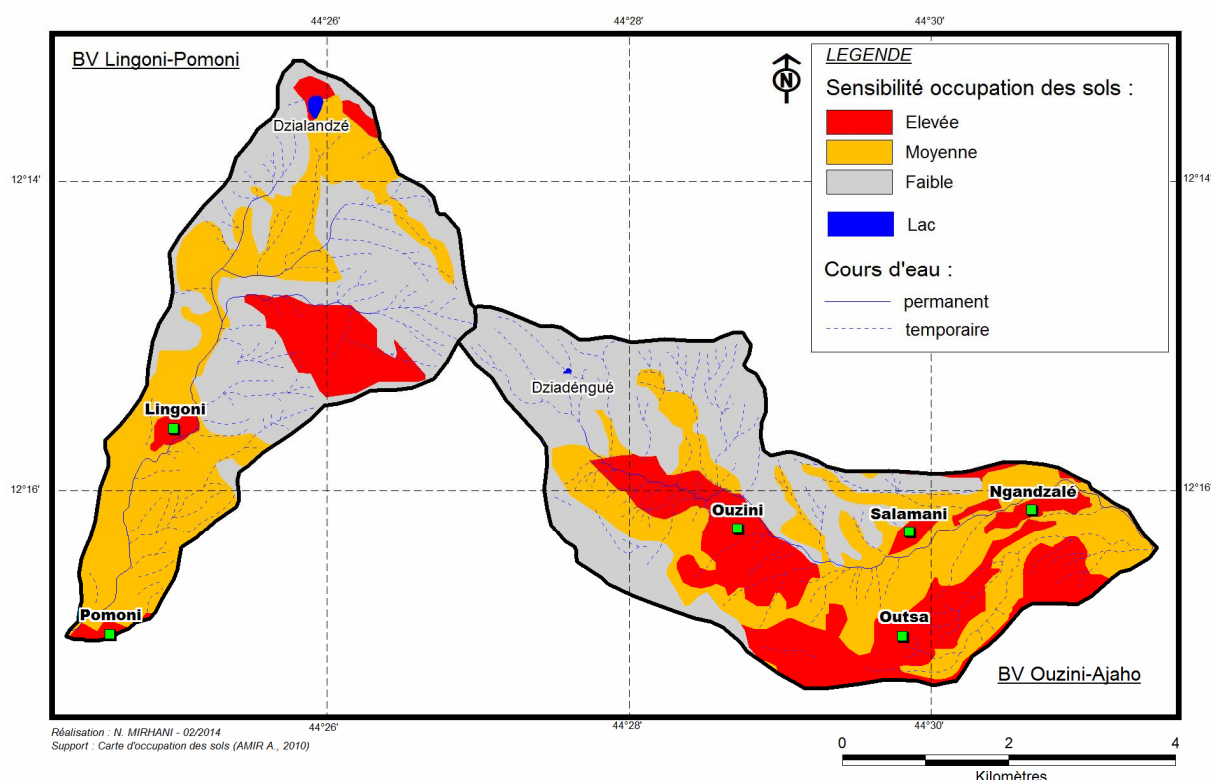


Figure 92- Vulnérabilité aux décapage et mouvements de masse selon l'occupation des sols

VI.2.4- Sensibilité potentielle du milieu physique aux décapages et mouvements de masse

A défaut de données récentes, les images satellites ayant servi à l'élaboration de la carte d'occupation des sols dont est dérivée celle de la sensibilité, remontent à 1995. Avec la rapidité des mutations de l'occupation des sols que connaît Anjouan comme nous l'avons montré au chapitre IV (*cf. IV.3*) ces informations sont déjà dépassées pour être utilisées pour la carte de sensibilité multifactorielle. Par contre, les composantes physiques du milieu telles que le climat et le relief sont soumises à des évolutions généralement moins rapides. Dans ces conditions, et à défaut de données pédologiques spatialisées, seuls les critères de sensibilité

aux précipitations et de pentes seront mis en rapport (*figure 93*). Imposée par le manque de données, cette démarche trop réductrice fournit néanmoins un cadre général pour une ébauche de réponse aux besoins actuels du pays en termes de prévention des risques environnementaux. Malgré ses limites, le document produit peut-être un utile outil basique d'aménagement.

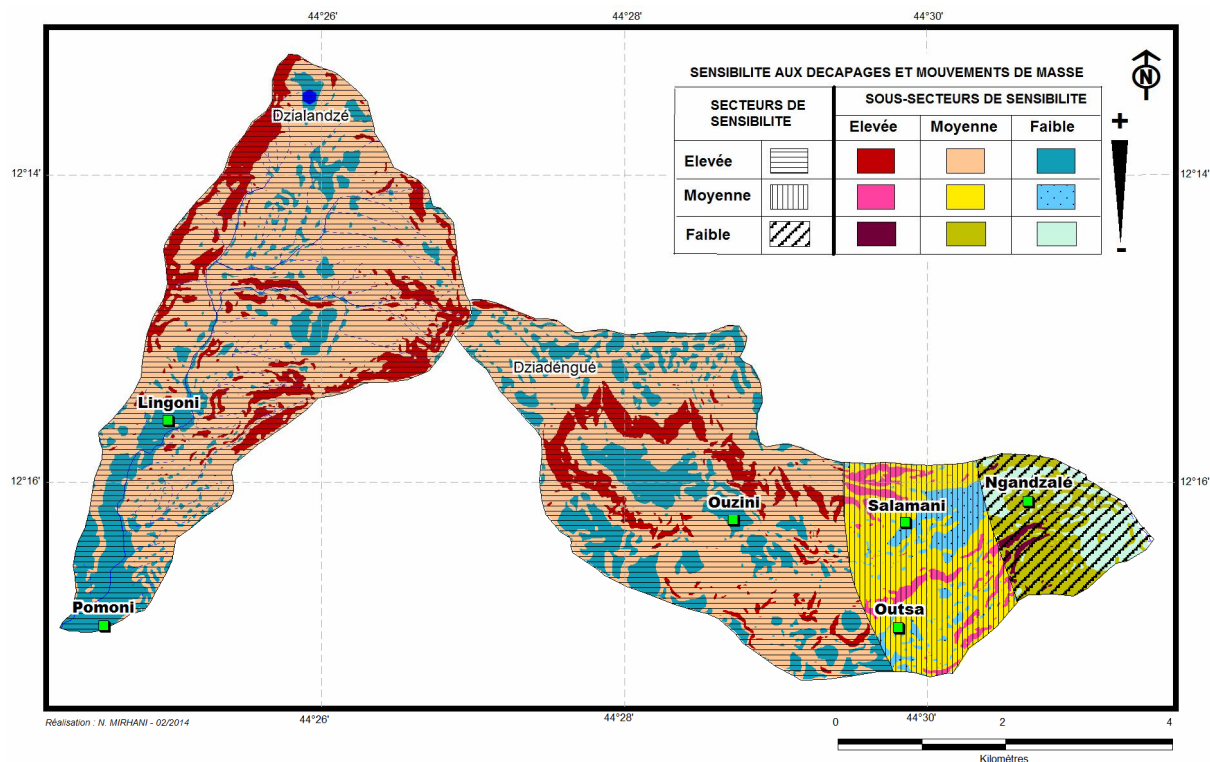


Figure 93- Sensibilité du milieu physique aux risques environnementaux

La légende de la carte fait apparaître neuf sous-secteurs de différentes couleurs répartis dans trois secteurs de sensibilités représentées par des hachures horizontales, verticales et obliques (en noir). Elle est établie sous forme de tableau à double entrée :

- **horizontale de la gauche vers la droite** signifiant que chaque secteur dispose de trois sous-secteurs spécifiques par ligne. Le secteur de sensibilité élevée (hachures horizontales), par exemple, comprend des sous-secteurs de sensibilité élevée, moyenne et faible correspondant à des teintes différentes. Il en est de même pour les secteurs de sensibilité moyenne et faible respectivement en hachures verticales et obliques.

- **verticale de haut vers le bas** ; les sous-secteurs de même sensibilité sont regroupés par colonne. De là, l'intensité de degrés de sensibilités relatives à chaque sous-secteur est appréciée par rapport à la catégorie de secteur auquel il appartient.

On peut ainsi remarquer sur la carte que la totalité de la superficie du bassin versant de Lingoni-Pomoni et plus de la moitié de celle d'Ouzini-Ajaho (66 %) se trouvent dans la catégorie des secteurs les plus sensibles aux risques de décapage et mouvements de masse ; donc de prévention prioritaire. Même si la carte illustre que le secteur de sensibilité faible

dispose d'un sous-secteur de sensibilité élevée, il reste le moins vulnérable aux risques de décapage et aux mouvements de masse en comparaison avec les secteurs de sensibilité élevée et moyenne. Il est cependant le plus exposé aux risques de déficit hydrologique et d'inondations menaçant les localités situées sur les plaines côtières.

VI.2.5- Discussion

La classification des milieux en fonction de leur sensibilité aux risques de décapage, de mouvements de masse et d'inondations proposée dans la présente recherche reflète les trois types de milieux décrits par Brouwers [1973], Tricart & Kilian [1979] et Tricart [1994] : instables, pénestables et stables. D'une façon simplifiée, les secteurs de sensibilité :

- **élevée** peuvent être assimilés aux **milieux potentiellement instables**, c'est-à-dire où la morphogénèse domine la pédogénèse. L'instabilité qui contrecarre la pédogénèse affecte une très grande partie de l'île ;

- **moyenne** sont proches des **milieux potentiellement pénestables** lorsqu'il y a un équilibre précaire entre pédogénèse et morphogénèse. Les décapages et les glissements sont moins fréquents ou moins intenses ;

- **faible** pouvant être équivalents aux **milieux potentiellement stables** lorsque la pédogénèse l'emporte sur la morphogénèse. Les sols ont la possibilité de se développer et de s'approfondir et la couverture végétale se maintient en permanence. Ces milieux sont rares à Anjouan.

Il existe toutefois une nette différence sur le plan méthodologique entre les deux approches bien que leurs finalités se rapprochent. Nous avons considéré les précipitations, les pentes, le sol et l'occupation des sols comme critères principaux pour classer les milieux en fonction de leur sensibilité aux risques environnementaux. Bien que la qualité des données pédologiques et d'occupation des sols limite la démarche technique, notre idée est de montrer qu'il existe une possibilité de croiser ces critères pour obtenir une carte de sensibilité potentielle permettant d'identifier les zones à risque et d'intervention prioritaires dans la planification des aménagements. Quant à Brouwers [1973], il est parti du principe selon lequel la nature du « matériel original » détermine pour une grande part le type et la vitesse de la pédogénèse, de l'altération et de la morphodynamique. Il a porté une attention particulière à la granulométrie, à la perméabilité, à la consistance et à la structure du matériel pour mieux comprendre la dynamique géomorphologique. Faisant partie des héritages anciens, la lithologie lui a permis de distinguer les formations meubles (pyroclastiques, formations détritiques) des roches consolidées (coulées de laves, necks, dykes) et des produits du

volcanisme ancien, moyen et récent. Tout cela a abouti à une distinction entre la pédogénèse évoluée et peu évoluée et la morphogénèse. Les principaux processus identifiés sont les décapages et les glissements ; les autres processus d'érosion (ravinelements, recouvrements, sapements, etc.) sont plus rares [Brouwers, 1973]. La combinaison de ces éléments a débouché sur l'élaboration d'une carte du bilan pédogénèse-morphogénèse. A partir de cette approche morphodynamique du milieu, Brouwers [1973] a défini des valeurs seuils de pente au-delà desquelles certains processus se mettront à fonctionner ou deviendront dangereux (*tableau 31*). Dans notre démarche technique, au contraire, les classes de pentes ont été préalablement définies selon la classification d'Emberger *et al.* [1983], donc indépendamment des conditions pédologiques. Or, le tableau suivant montre le rôle joué par la perméabilité des sols sur le décapage ou les mouvements de masse et confirme que ces phénomènes peuvent se produire même sur des pentes de 1,7° ou de 10°. Mais en commun, les deux approches tiennent compte des caractères physiques du milieu, ce qui confère aux cartes établies une certaine pérennité puisque les composantes physiques sont difficilement modifiables [Brouwers, 1973].

Tableau 31-La sensibilité des pentes aux risques environnementaux suivant les types de sol

Sol/ support	Décapage selon les pentes (sous cultures annuelles traditionnelles)	Mouvements de masse⁶² selon les pentes
Très perméables (colluvions caillouteuses, scories)	?	45° (100 %)
Perméable, profond (alluvion, colluvions, projections)	5,7- 8,5° (10-15 %)	25-45° (46,6- 100 %)
Perméable, peu profond sur niveau imperméable (projections fines)	2,9 – 5,7° (5-10 %)	25° (46,6 %)
Peu perméable	1,7-5,7° (3-10 %)	10-25° (5,7- 46,6%)

Source : Brouwers, 1973

VI.3- La nécessité d'un modèle d'aménagement intégré

L'étude de la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants débouche sur un constat de complexité des processus. Les facteurs à l'origine sont multiples et interagissent d'amont en aval. Les mesures techniques à elles seules ne suffisent pas à affronter les problèmes des bassins versants [FAO, 2009]. Contrairement aux idées reçues aux Comores, en particulier à Anjouan, la perturbation du fonctionnement hydrologique est loin d'être résolue par des reboisements systématiques ; d'où la nécessité d'un aménagement

⌋ Les pentes en % ne correspondent pas à celles de BROUWERS, pour lui 25° ≈ 40% et 10° ≈ 20 %. Nous avons fait la conversion à partir du site : <http://www.skitour.fr/divers/conversion-pourcentage-degre.php>

intégré des bassins versants. Ce type d'aménagement a pour objectif de produire des avantages pour la population comme pour l'environnement dans lequel elle vit [FAO, 2008]. Pour ce faire, nous allons d'abord présenter un schéma conceptuel des principaux déterminants d'un aménagement intégré, par la suite proposer un modèle d'occupation des sols où seront appliqués ces déterminants lors de l'aménagement.

VI.3.1-Les déterminants d'un modèle d'aménagement intégré

Les résultats des approches naturalistes et sociales ont conduit à l'identification des principaux déterminants d'un aménagement intégré et adapté aux spécificités des bassins versants (figure 94).

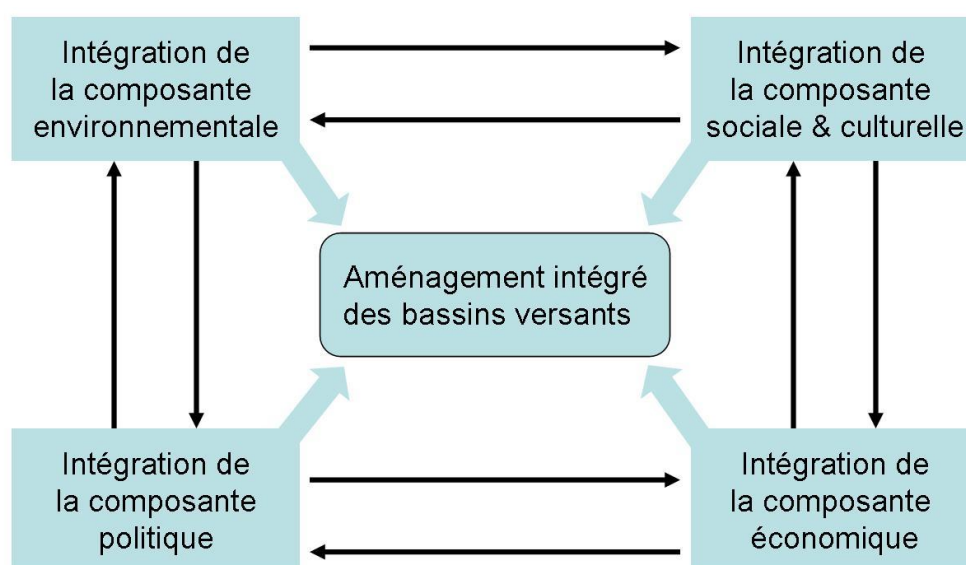


Figure 94-Déterminants d'un modèle d'aménagement intégré des bassins versants

La composante environnementale peut être scindée en deux : le biotique et l'abiotique. L'aménagement est focalisé sur l'état, la qualité et la quantité des ressources pour assurer le maintien des équilibres écologique, morphodynamique et hydrodynamique.

En milieu biotique, les efforts des aménagements doivent se focaliser sur le choix des espèces floristiques :

- endémiques et/ou en danger critique d'extinction (CR) ou vulnérables à l'action anthropique (cf. V.4.4) ;
- supposées entretenir et/ou maintenir le sol et les écoulements hydrologiques (cf. V.3.1) ou avoir une capacité d'interception des précipitations ;
- constituant l'habitat et/ou la nourriture préférentiels d'une « faune menacée » (cf. V.3.2) ;

- résilientes à la diminution des précipitations et à la hausse des températures que connaît Anjouan (*cf. IV.1*).

Définir leurs zones d'occupation (aire de distribution réelle) et d'occurrence (aire d'extension possible) ainsi que les conditions pédologiques à l'échelle des bassins versants est une condition sine qua non avant toute reforestation.

En milieu abiotique, les aménagements doivent tenir compte :

- de la sensibilité des milieux aux risques naturels potentiels (mouvements de masse, décapages, crues extrêmes, inondations) (*cf. V.2*) ;
- de la résilience des aménagements à ces risques naturels ;
- des contraintes pouvant être imposées par la texture et la structure des sols à aménager ;
- des versants d'exposition aux vents dominants (*cf. III.3*) s'il y a nécessité d'aligner des rideaux d'arbres qui serviront de brise-vents pour abriter les cultures et les bâtis ;
- de la spécificité morphologique des différents tronçons de la vallée (*cf. III.1.2*) ;
- des tendances évolutives des débits des sources alimentant les cours d'eau ou approvisionnant les localités des bassins versants ;
- de l'interdépendance entre la typologie d'occupation des sols et la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants ;
- des secteurs d'interventions prioritaires.

La composante économique s'intéresse aux valeurs d'usage économique qui, selon la FAO [2008], désigne les ressources nécessaires pour mener à bien une activité économique présente ou future. Dans les bassins versants étudiés, les principales sources de revenus proviennent des formations végétales, de la terre et de l'eau.

Lors des reboisements, l'intérêt doit être porté aux plantes de haute valeur socio-économique tant culturelle que forestière. Pour les espèces culturelles, chaque localité peut avoir ses spécificités qu'il faut impérativement reconnaître. Mais dans l'ensemble des bassins versants de l'île, on peut distinguer des cultures industrielles pour l'exportation, vivrières pour la consommation locale et maraîchères pour le marché national. Concernant les espèces forestières, celles les plus utilisées ainsi que leurs usages sont identifiés au chapitre V (*cf. V.3.3 - V.4.1 & V.4.2*). La terre reste un déterminant incontournable des choix d'aménagement, le rendement agricole dépendant de sa capacité de production et de sa stabilité qui est fonction de sa capacité de rétention en eau. Cette dernière, qui est au centre de notre problématique, mérite une attention particulière sur le plan économique. Un savoir-faire de la gestion des excès est nécessaire pour réduire les impacts négatifs au niveau des infrastructures agricoles,

routières, etc. Les conditions économiques des pays peuvent être améliorées en valorisant les ressources en eau dans les secteurs agricole, énergétique (chute de Lingoni par exemple), aquacole et touristique (les lacs de Dziadengué et Dzialandzé), etc.

La composante sociale et culturelle est la plus déterminante dans la réalisation et le succès des aménagements (*cf.* V.2.). Ces derniers nécessitent :

- une considération de la multiplicité des acteurs et des regards ;
- un dialogue égalitaire entre les institutionnels en charge des aménagements et la communauté locale concernée ;
- une prise en compte des savoirs et des savoir-faire locaux ;
- une bonne compréhension du fonctionnement de la société paysanne ;
- une cohésion sociale; d'où la nécessité de susciter l'intérêt commun des paysans ;
- la garantie du respect des droits coutumiers sur le foncier.

La composante politique pour soutenir les parties prenantes dans les projets d'aménagements et garantir la pérennité ainsi le respect des règles des aménagements des bassins versants. Pour y parvenir, des outils d'accompagnement sont nécessaires :

- un cadre politique d'aménagement des bassins versants intégrant les découpages administratifs actuels ;
- des structures et des comités locaux de gestion de l'eau et/ou des ressources naturelles assistés par une équipe pluridisciplinaire ;
- un partenariat entre différentes institutions spécialisées dans les domaines de l'environnement, de l'eau, de l'économie, du développement social et de l'aménagement pour mener conjointement les travaux ;
- un mécanisme de financement et de suivi des aménagements à long terme ;
- une législation foncière définissant les classes d'occupation et d'utilisation des sols en fonction des risques naturels ;
- une éducation de base ;
- une lutte contre la pauvreté dans les localités en amont des bassins versants.

Une partie de ces outils d'accompagnement seront renforcés par l'arsenal juridique en vigueur se rapportant en particulier à la gestion des ressources naturelles. Souvent ignoré lors des aménagements, par méconnaissance ou par négligence, il paraît nécessaire de l'énoncer dans cette recherche en tenant compte uniquement des textes établis après l'indépendance. Il s'agit des lois, des décrets, des arrêtés, des ordonnances et des décisions :

-Loi N° 88-006 du 12 juillet 1988 portant régime juridique de la reforestation, du reboisement et des aménagements forestiers ;

- Loi-cadre N° 94-018 du 22 juin 1994 relative à l'environnement telle qu'amendée par la loi N° 95-007 du 19 juin 1995 ;

- Loi N° 94-037 du 21 décembre 1994 portant code de l'eau ;

- Loi N° 11-006 portant organisation territoriale de l'Union des Comores ;

- Décret N° 01/052/CE du 19 avril 2001 relatif aux études d'impact sur l'environnement ;

- Décret N° 06-021/PR du 21 février 2006 portant création, organisation et fonctionnement du Fonds pour la Gestion de l'Environnement (FGE) ;

- Décret N°12-141/PR du 12 juillet 2012 portant promulgation de la loi N° 12-001 du 9 juin 2012 relative à la gestion forestière ;

- Arrêté N° 87-03 du 7 juillet 1987 portant interdiction de coupe de bois et suspension provisoire de toute exploitation de forêts sur l'ensemble du territoire national ;

- Arrêté N° 01/31/MPE/CAB du 14 mai 2001 portant protection des espèces de faune et de flore sauvage des Comores ;

- Arrêté N° 01/32/MPE/CAB du 14 mai 2001 portant adoption de la Stratégie Nationale et du Plan d'Action pour la Conservation de la Diversité Biologique ;

- Ordonnance N° 00-014/CE du 19 octobre 2000 portant modification de certaines dispositions de la Loi-cadre relative à l'Environnement ;

- Décision N° 10/002/CPPETADH du 13 janvier 2010 portant interdiction de la destruction de l'environnement sur l'ensemble du territoire de l'Île Autonome d'Anjouan.

Bien que certains de ces textes juridiques nécessitent une révision ou une mise à jour (exemple du répertoire de la faune et de la flore protégée par l'Arrêté N° 01/31 du 14 mai 2001, la Décision N° 10/002 du 13 janvier 2010 interdisant absolument l'extraction du sable dans l'ensemble du territoire d'Anjouan, etc.), ils constituent un outil de référence pour établir des propositions d'aménagement répondant à la Politique Nationale de l'Environnement. « Le principe de base qui sous-tend cette politique est l'intégration de la dimension environnementale dans la politique et le développement social et économique » [MPE, 2001]⁶³ de l'Union des Comores.

⁶³ MPE : Ministère de la Production et de l'Environnement

VI.3.2-Le modèle d'aménagement

Le modèle d'aménagement proposé est dérivé de la carte de sensibilité potentielle du milieu physique. Il a été établi de manière à prendre en compte la typologie d'occupation des sols existante, les classes de pentes et la répartition pluviométrique dans l'espace, pour localiser les secteurs d'interventions prioritaires. Il ne prétend pas rétablir l'état antérieur de la forêt et des cours d'eau [Mirhani *et al.*, 2014]. Dans le contexte actuel de croissance démographique, le modèle d'aménagement s'adapte plutôt à la demande croissante en terre pour l'agriculture tout en cherchant un équilibre harmonieux entre les composantes socioculturelles, économiques et biophysiques des bassins versants. Il fixe les seuils de pentes à ne pas dépasser lors des activités agricoles ou de l'étalement urbain pour réduire les risques environnementaux (*tableau 32*).

Tableau 32-Caractéristiques des milieux et possibilités d'aménagements

Classes de pentes (°)	Catégories de pentes (1)	Type de drainages (1)	Risques environnementaux	Possibilités d'aménagement
$0 < P < 13$	nulle à moyenne	nul à moyen	faible à nul	Cultures, bâtis,
$13 \leq P < 45$	moyenne à forte	moyen à rapide	moyen	agro-forêt
$P \geq 45$	très forte à abrupte	Très rapide	élevé à très élevé	forêt
Variable en fonction des tronçons de la vallée	Variable selon le profil du chenal	Variable selon le profil du chenal	Variable selon les berges	Cordon végétal

Suivant les critères de sensibilité aux risques naturels et les composantes socio-économiques des milieux explicités précédemment, quatre types d'occupation des sols ont été retenus pour la modélisation cartographique (*tableau 33*) sur une superficie totale de 34 km² pour les bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni. Les agro-forêts occupent la première position en termes de superficie prévue dans l'aménagement. Elles s'étendent sur 63 % de la superficie des deux bassins versants. Elles sont suivies par les zones de cultures ; la superficie est estimée à 21 % dont une partie peut être destinée à l'étalement urbain. Le seuil minimal de l'étendue forestière à maintenir est évalué à 13,8 % conformément aux critères de sensibilité des milieux. Les cartes (*figures 95 & 97*) donnent plus de précision sur la répartition spatiale de ces différents types de possibilités d'aménagement et renseignent en même temps les classes de pentes correspondantes. Ce modèle d'aménagement est également visualisable en paysage – 3D (*figures 96 & 98*). L'idée sera de construire une maquette qui

servira de support pour des discussions égalitaires entre les habitants, les scientifiques et les aménageurs.

Tableau 33-Les possibilités d'aménagement et les superficies correspondantes

Possibilités d'aménagement	Superficie par bassin versant				Superficie totale	
	Ouzini-Ajaho		Lingoni-Pomoni			
	km²	%	km²	%	km²	%
Culture	4,6	24,3	2,5	16,7	7,1	21
Agro-forêt	11,6	61,2	9,8	65,3	21,4	63
Forêt	2,4	12,7	2,3	15,3	4,7	13,8
Cordon végétal	0,4	1,8	0,4	2,7	0,8	2,2
Superficie totale	19	100	15	100	34	100

Les cartes des bassins versants sont réparties en secteurs 1, 2 et 3 dérivés de la carte de sensibilité des milieux aux précipitations. Le secteur 1 indique une zone d'intervention prioritaire pour les aménagements. Il s'étend sur le total de la superficie du bassin versant Lingoni-Pomoni alors que le bassin versant Ouzini-Ajaho comprend les trois secteurs (1,2 et 3) (*figures 95*) : le premier s'étend sur 63 %, le second sur 21 % et le troisième sur 16 % de la superficie totale du bassin.

Les quatre possibilités d'aménagements proposées peuvent être réparties ainsi :

- **Les zones de cultures, de maraîchages et de bâtis** concernent les terroirs dont l'inclinaison est inférieure à 13° où le drainage est nul à moyen. Leur superficie est estimée à **24,3 % pour le bassin versant Ouzini-Ajaho et à 16,7 % pour celui de Lingoni-Pomoni**. Les techniques agronomiques doivent y être renforcées afin d'accroître la productivité, ce qui contribuera à la réduction de l'extension des défrichements.

- **Les agro-forêts** seront maintenues entre 13° et 45° de pentes où le drainage est moyen à rapide. Elles s'adaptent parfaitement à la morphologie du relief accidenté des bassins versants. Leur superficie dans cette classe de pentes est de 61,2 % pour le bassin versant Ouzini-Ajaho et 65,3 % pour celui de Lingoni-Pomoni. Les pratiques agro-forestières ont l'avantage de faire déjà partie du système de gestion locale des terroirs, même si la strate forestière n'est pas suffisamment maintenue. Les essences forestières associées aux cultures jouent le rôle de brise-vent en faveur des cultures, maintiennent la fertilité du sol et limitent les processus d'érosion.

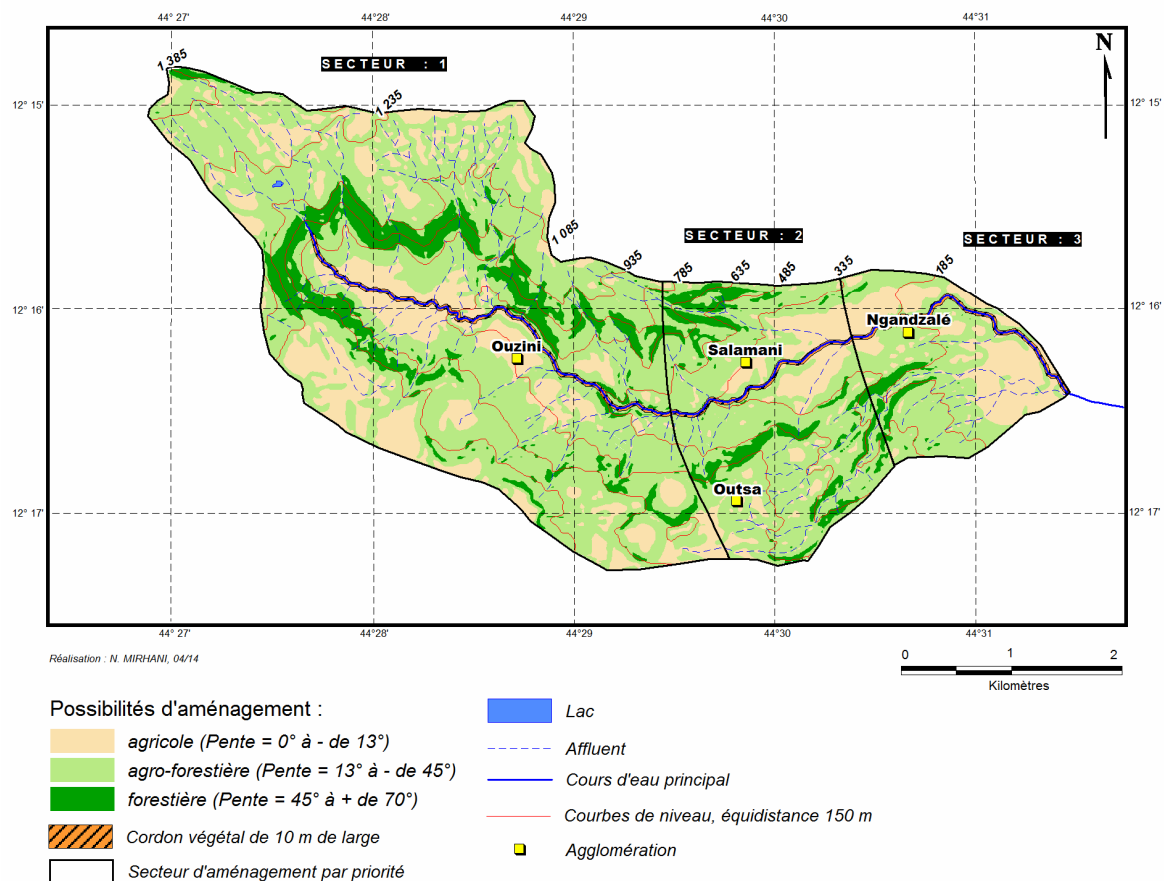


Figure 95- Vue planimétrique du modèle d'aménagement du bassin versant Ouzini-Ajaho

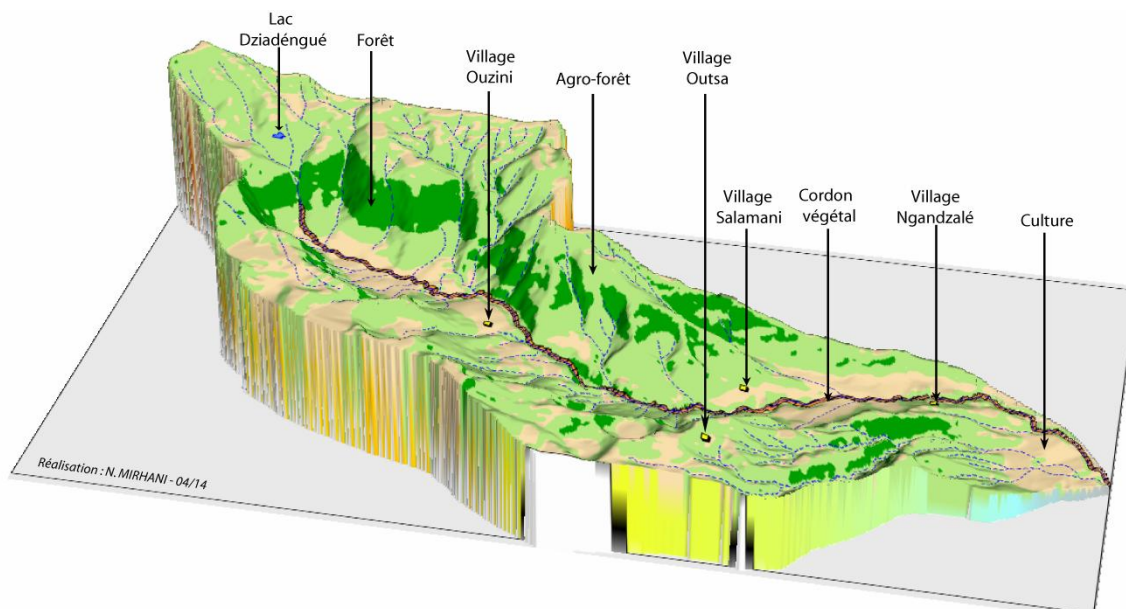


Figure 96- Transcription paysagère du modèle d'aménagement du bassin versant Ouzini-Ajaho

- **La couverture forestière** doit être maintenue sur les versants dont l'inclinaison est supérieure ou égale à 45°. Le drainage étant très rapide, les risques de mouvements de masse ou de décapage sont très élevés. Cette limite de 45° correspond au seuil de déforestation à ne pas dépasser.

- **Un cordon boisé de 10 m de large** au moins sera nécessaire sur les deux rives pour atténuer l'agressivité des crues, entretenir les cours d'eau et protéger les berges. Il jouera par ailleurs le rôle d'un corridor biologique puisqu'il favorisera la circulation de la faune qui assure la dissémination des semences. Les oiseaux granivores, les chauves-souris frugivores et les lémuriens (*cf. V.3.2*) sont parmi les principaux agents de la dissémination floristique. On a pu ainsi observer en amont du petit fleuve de Pomoni à Lingoni et de la rivière Havundrékuni à Ouzini, un linéaire d'*Eugenia jambosa* dont les fruits sont appréciés par ces animaux. Pour permettre à la faune de remplir cette fonction de dissémination, le corridor écologique sera de préférence connecté à des zones forestières.

- **Des impluviums** pour recueillir et stocker directement les eaux de pluies pourront être privilégiées à la place des petits barrages de rétention d'eau qui privent en partie la rivière de ses sources d'alimentation. Les eaux stockées pourront être utilisées en période de *Chilimo* recevant moins de pluies. Il y a nécessité de réglementer les volumes d'eau à prélever pour l'alimentation des villages et la distillation d'ylang-ylang en période d'étiage et de hautes eaux. Il en est de même pour le rythme annuel de prélèvement de sable alluvial.

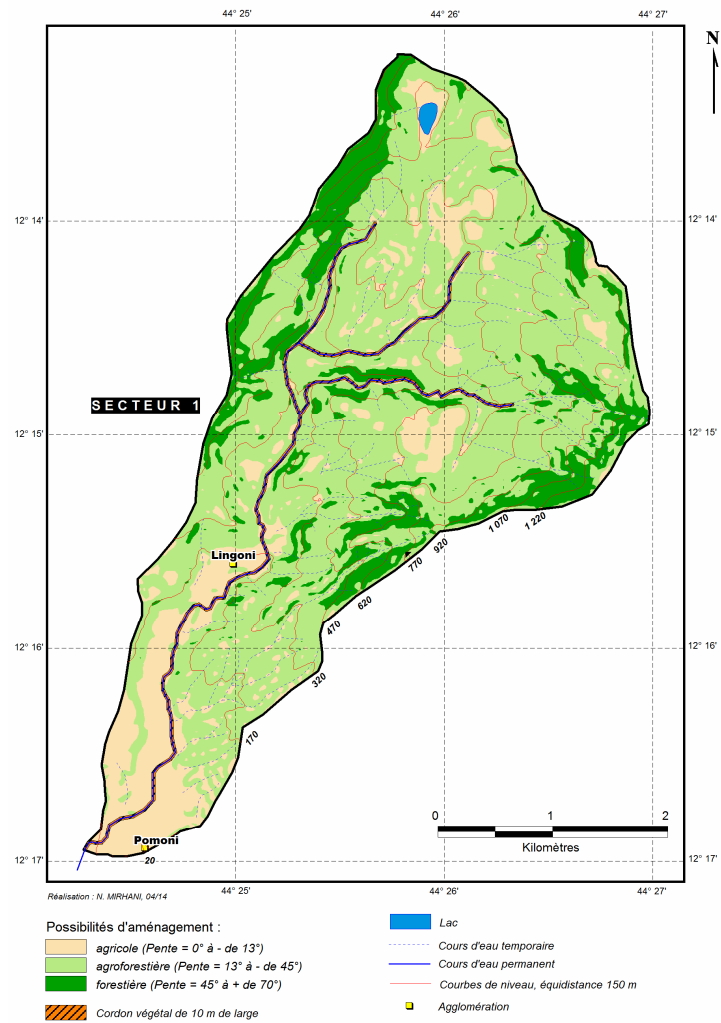


Figure 97-Vue planimétrique du modèle d'aménagement du bassin versant Lingoni-Pomoni

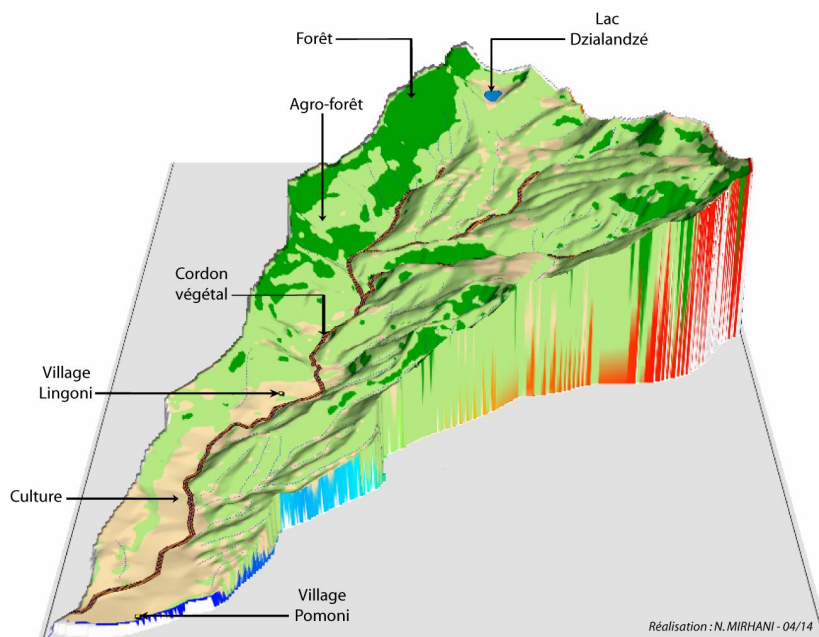


Figure 98- Transcription paysagère du modèle d'aménagement du bassin versant Lingoni-Pomoni

VI.3.3- Vers une confrontation du modèle d'aménagement à la réalité du terrain

La confrontation de la carte de proposition d'aménagement avec celle de l'occupation réelle des sols présente des avantages. La comparaison des deux cartes permettra de vérifier si l'utilisation actuelle des terres est conforme ou non à celle proposée [Brouwers, 1973].

La comparaison d'un échantillon du modèle d'aménagement (*figure 99*) avec celui de la carte d'occupation du sol issue des traitements d'image SPOT de 2007, montre que les limites de la déforestation à ne pas dépasser ne sont pas atteintes dans certains sites (en vert) mais dépassées dans d'autres (en rouge) (*figures 100 & 101*). Ces derniers seront classés comme sites d'interventions prioritaires pour la mise en défens, la réhabilitation ou la restauration écologique afin de favoriser la reconstitution de la forêt. On prendra comme écosystème de référence la couverture forestière jouxtant la zone défrichée mais tout dépendra de l'état du sol. La restauration écologique et le maintien de la forêt existante sur ces versants réduiront les processus de ruissellement en favorisant l'infiltration des eaux dans le sous-sol et stabiliseront le sol.

Les résultats d'une telle confrontation cartographique à l'échelle des bassins versants aideront à la prise de décisions par les institutionnels en charge de l'aménagement et de la gestion des ressources. Ils attireront leur attention sur l'utilisation anarchique de certaines terres et la sous-exploitation d'autres et leur permettra d'établir des programmes de conservation des terres et de mise en valeur adéquate [Brouwers, 1973].

VI.3.4-Discussion

Le modèle d'aménagement proposé dans cette recherche doit être discuté au regard de la première et seule carte des propositions d'affectation des terres élaborée en 1973 à l'issue d'un rapport établi dans le souci de répondre aux « problèmes liés à la mise en valeur et à l'utilisation rationnelle des ressources agricoles » par Brouwers [1973]. Les classifications employées pour définir les propositions d'affectation des terres sont différentes entre les deux approches. Le tableau 34 fait apparaître cinq classes (I-polyvalente ; II-arbustive/arborée, III-sylvo-pastorale, IV-forestière, V- impropre à l'agriculture) et quatre sous-classes (a, b, c et d) appartenant à la classe IV (forêt) d'affectation des terres de Brouwers [1973] modifié par Stapleton [1986]. Les pentes et les aménagements correspondants à ces classes sont également donnés. Ces classes d'affectation des terres sont mises en parallèle avec les propositions d'aménagement issues des résultats de cette recherche. Elles comprennent quatre possibilités

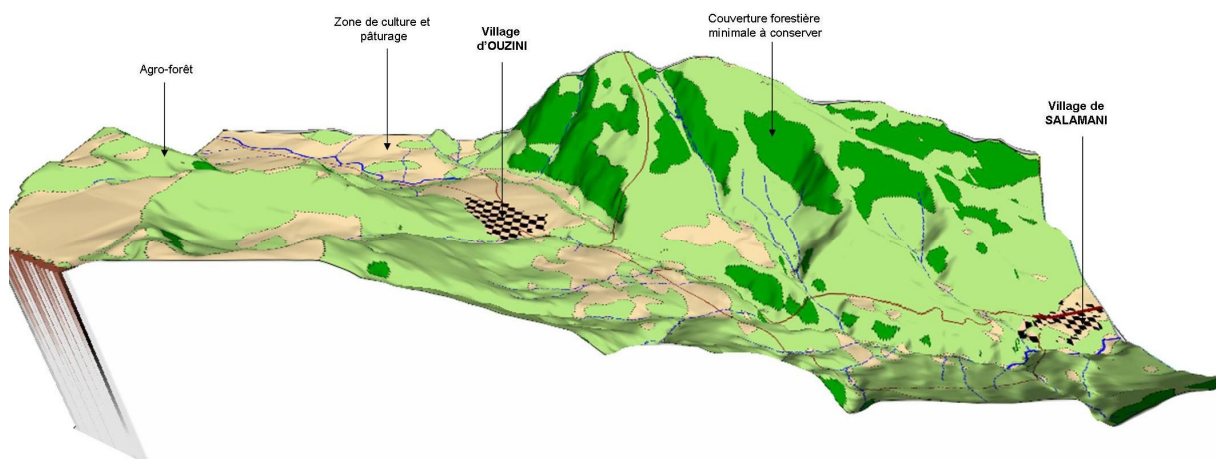
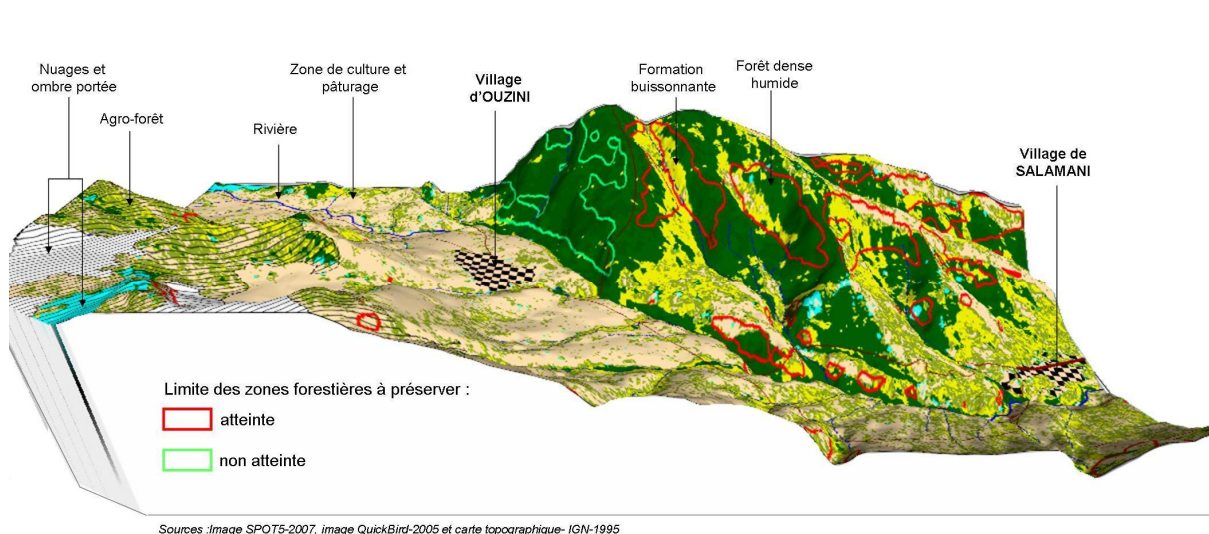


Figure 99-Vue paysagère d'un échantillon du modèle d'aménagement du bassin versant Ouzini-Ahaho



Sources :Image SPOT5-2007, image QuickBird-2005 et carte topographique- IGN-1995

Figure 100-Vue paysagère de la situation forestière de 2007 par rapport au seuil maximal de la déforestation

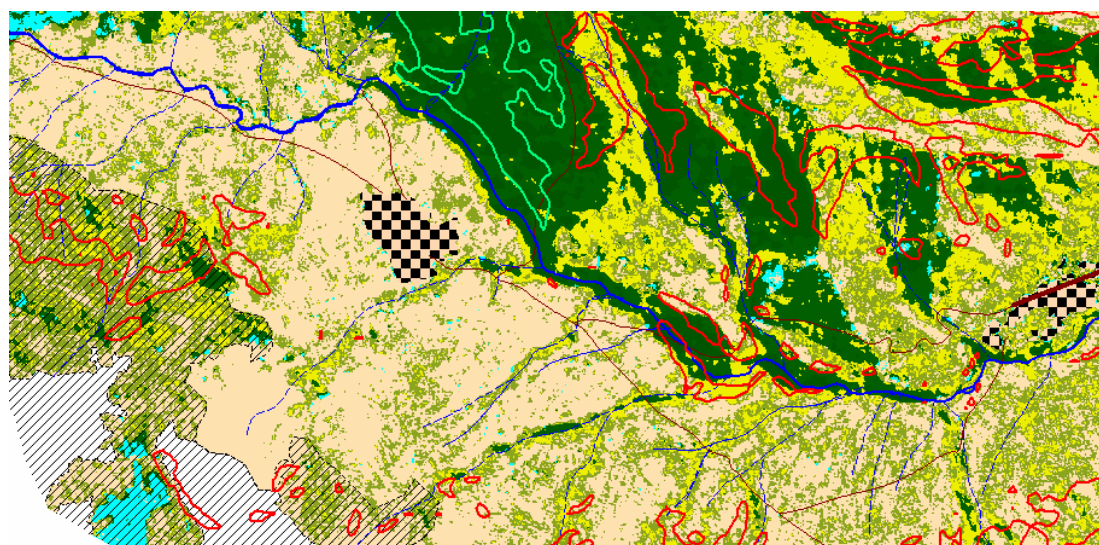


Figure 101-Vue planimétrique de la situation forestière de 2007 par rapport au seuil maximal de la déforestation

d'occupation des sols ((A) Cultures libres, maraîchage et bâtis ; (B) Agro-forêt ; (C) Forêt et (D) Cordon végétal) avec les pentes correspondantes.

La mise en parallèle de ces deux modèles d'aménagement, nous a permis de trouver les correspondances respectives et d'associer les cinq classes de possibilités agricoles de Brouwers [1973] ainsi que les traitements anti-érosifs proposés avec notre modèle d'aménagement. En tenant compte des classes de pentes, il en résulte que :

- les cultures **polyvalentes de la classe I** et les pratiques **sylvo-pastorales de la classe III** renvoient à la classe **(A) de culture, maraîchage et bâtis** définie dans le modèle d'aménagement de la présente thèse. Pour être convenable à toutes les cultures, les sols doivent être profonds (>50 cm) et non ou peu pierreux [Brouwers, 1973]. La nécessité d'un traitement anti-érosif est fonction du couvert végétal qui sera mis en place ;

Tableau 34-Comparaisons des possibilités d'aménagement et des classes de pentes correspondantes

Affectation des terres de BROUWERS [1973] modifiée selon STAPLETON [1986]			Propositions d'aménagement de N. MIRHANI		
Classe	Possibilités agricoles	Pente et traitement anti-érosif	Classe	Possibilités d'occupation des sols	Classe de pente
I	Polyvalentes	P< 10 % (5,71 °) Aucun traitement	(A)	Cultures libres, maraîchage, bâtis	0 à - de 13°
II	Arbustives/arborées au-dessus de 400 m	P<60 % (30,96 °) Lignes végétales ou murets en pierres	(B)	Agro-forestière	13° à - de 45°
III	Sylvo-pastorale : clôtures, légumineuses ou arbres fourragers	Terrassement sur pente >10 %	(C)	Forestière	45° à + de 70°
IV	Forestière :	Forte pente	(D)	Cordon végétal le long des rives	
IVa	Production agro-forestière	P<60 % (30,96 °) Terrassement obligatoire			
IVb	Protection : agro-forêt en forêt permanent	P>60 % (30,96 °) Terrassement obligatoire			
IVc	Restauration en arbres et arbustes des terres dégradées ou abandonnées				
IVd	Domaniale à maintenir et à étendre : Agriculture sous- forêt strictement contrôlée ; Etablissement des réserves naturelles pour la protection des sources				
V	Impropres à l'agriculture ; à laisser sous végétation naturelle	Versants sub-verticaux avec affleurements rocheux			

- les cultures **arbustives et arborées de la classe II** et **agro-forêts des sous-classes IVa - IVb** peuvent être référées à la classe **(B) des agro-forêts** que nous avons définies. La pente est inférieure à 45°. Cette logique de donner plus d'importance à l'agroforesterie est bien justifiée par Stapleton [1983] pour le cas d'Anjouan :

La forêt « est pratiquement totalement occupée et une bonne partie mise en culture par les paysans. La pression foncière est devenue telle qu'on doit accepter les cultivateurs forestiers comme un fait permanent. Un niveau rationnel d'exploitation dans un contexte agro-forestier serait probablement un moyen plus efficace pour réaliser un équilibre réaliste entre les problèmes écologiques et socio-économiques ».

Des terrasses, des lignes végétales ou murets en pierres sur courbes de niveau sont ainsi recommandés par Stapleton [1983] pour protéger le sol contre les décapages.

Bref, l'agroforesterie constitue une alternative pour limiter la déforestation dans le contexte actuel de croissance des besoins en terre pour l'agriculture. Elle favorise le maintien du sol, de certaines essences forestières ainsi que la production agricole et ligneuse ;

- les **forêts domaniales**, les **réserves naturelles pour la protection des sources de la sous-classe IVd** et les **terrains impropres à l'agriculture de la classe V** sont associables à la classe **(C)** essentiellement **forestière** sur des pentes supérieures ou égales à 45°.

Selon la demande en terre, les types de sol et le domaine forestier qui peut être soit à l'Etat, soit à des collectivités locales ou à des particuliers, les limites des pentes concernant la forêt que nous avons proposées dans le modèle d'aménagement peuvent être repoussées à l'intérieur de celles définies pour l'agro-foresterie (13° à moins de 45°). Cela se fait dans l'intérêt du respect du *Décret N°12-141 du 12 juillet 2012 portant promulgation de la loi N° 12-00 du 9 juin 2012, relative à la gestion forestière*. Le Décret précise clairement dans son Article 62 : *Les parcelles du domaine forestier de l'Etat dont les sols présentent des pentes supérieures à trente cinq pour cent (35%)⁶⁴ sont de plein droit soumis à un régime spécial de protection. Les coupes sont interdites sauf nécessité phytosanitaire*. Le même Article laisse une marge au ministre chargé des forêts de soumettre par arrêté d'autres parcelles du domaine forestier de l'Etat à un régime spécial de protection, lorsque le maintien d'un couvert forestier permanent est nécessaire à la conservation de sols fragiles, de nappes phréatiques, de sources et de cours d'eau.

- Le **cordon végétal** de la classe **(D)** est un cas particulier pour les rives des cours d'eau ; il n'a donc pas de correspondance dans les classes de possibilités agricoles de Brouwers [1973].

Une telle proposition d'aménagement, bien qu'elle tente de répondre aux trois composantes « sociale-économique-écologique », a des limites liées à des contraintes d'origine naturelle et/ou anthropique.

⁶⁴ Une pente de 35 % correspond à 19,29°

L'encadré suivant reprend les propositions faites par Brouwers pour limiter les décapages et les mouvements de masse.

QUELQUES TECHNIQUES POUR LIMITER LES DECAPAGES ET LES MOUVEMENTS DE MASSE

Décapage

Lorsque le décapage constitue la contrainte majeure d'une région, les mesures de conservation devront être orientées vers la lutte contre l'ablation généralisée. Ceci peut se faire :

- en adoptant le type d'utilisation du sol : cultures arbustives ou arborées avec mulch, pâturages et cultures en bandes alternées ;
- par de meilleures façons culturales : labours, semis, plantations et sarclages en courbes de niveau ;
- et surtout par des travaux d'aménagement en terrasse à l'aide de cordons végétaux, des murs en pierres, éventuellement avec fossés de diversion.

Ces cordons et ces murs provoquent la formation graduelle de terrasses en freinant le ruissellement au profit de l'infiltration. Cette technique de terrassement ne bloque pas entièrement le ruissellement. Les risques de ravinement et de glissement sont donc faibles.

Mouvements de masse

En de nombreuses autres régions, à la contrainte « décapage » s'ajoute la contrainte « mouvements de masse ». Il est difficile, voire impossible de les combattre, notamment les « coups de cuillères », caractéristiques des versants abrupts. Le seul moyen pour y remédier est de diminuer l'infiltration mais un tel procédé reviendrait à accroître le ruissellement et par là le danger de décapage. Aussi n'existe-t-il pas un type d'utilisation adapté et un type d'aménagement simple vraiment satisfaisant capable de contrecarrer ces mouvements de masse, comme c'était le cas pour l'érosion en nappe.

Des aménagements en terrasses sont à proscrire car en favorisant l'infiltration, ils accentuent le déséquilibre du versant et risquent donc d'être entraînés rapidement. Un aménagement complexe d'un réseau de fossés collecteurs reliés à un ravin sur le versant parviendrait peut-être à s'opposer au déclenchement des glissements.

Source: Brouwers, 1973.

VI.4 - Quelques contraintes

La croissance des besoins en terre pour l'agriculture entraîne souvent des conflits familiaux ou intercommunautaires. Une telle situation constitue un obstacle à l'aménagement. Il sera difficile, voire impossible d'envisager une réhabilitation ou une restauration écologique dans ces foyers de tension sans résoudre, au préalable, les problèmes fonciers.

Nous avons signalé précédemment que les plantations de girofliers ont un impact négatif sur les écoulements hydrologiques (*cf. IV.3.3*). Cependant, elles offrent une potentialité économique importante en termes de produits d'exportation et constituent la

principale source de revenus de la majorité des paysans. Il sera donc difficile de prendre position sur cette question. Une réduction de la densité des girofliers sur les bassins versants, même avec une indemnisation des propriétaires terriens, compromettra l'économie du pays et ne garantira pas le retour certain à l'état initial des écoulements. En effet, nous avons vu que beaucoup d'éléments interagissent dans les hydrosystèmes et certains constituent des contraintes difficilement surmontables : la structure hydrogéologique des bassins versants dotés d'une faible capacité de stockage d'eau, le réchauffement climatique à l'échelle régionale, etc. viennent s'ajouter les aléas climatiques tels que les cyclones et les pluies diluviennes qui font partie du cycle naturel global ; ils sont incontournables. L'étendue de leurs dégâts peut néanmoins être limitée par des aménagements résilients.

Les expériences du terrain ont montré que les traitements anti-érosifs proposés pour accompagner l'utilisation des terres ont des limites. Quelques travaux de terrassement artificiel en banquette ont été entrepris. Mais en général, les sols sont trop superficiels et les pentes trop fortes pour développer cette méthode à grande échelle [Stapleton, 1986].

Conclusion partielle

La question de la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants que connaît Anjouan est entourée de mythes et de réalités. Certains points ont été ici clarifiés. Contrairement aux discours qui pointent la déforestation comme étant le germe de la diminution des précipitations locales et de la modification des régimes hydriques, aucune preuve scientifique ne montre, pour l'instant, que ce phénomène en constitue une cause significative. La plupart des études confirment que la forêt protège le sol mais aucun versant ne serait à l'abri des dégâts provoqués par des pluies d'intensité très élevée. Contrairement aux idées reçues, la croissance démographique à Anjouan n'est plus la cause principale de la dégradation ou de la diminution des ressources naturelles ; elle contribue plutôt à l'accélération des processus en cours. Entre ces mythes et réalités, on sait clairement que les problèmes de l'eau sont étroitement liés au sol qui est soumis aux décapages (action érosive de ruissellements), mouvements de masse (phénomène relatif aux infiltrations des eaux et à la saturation des sols). Les précipitations, les pentes, les types de sols et l'occupation des sols sont considérés parmi les critères qui déterminent la vulnérabilité des milieux face à ces risques.

Associés à des causes multiples (*cf. chapitre IV*), les résultats énoncés confirment davantage que le processus de perturbation hydrologique des bassins versants est complexe et ne peut être résolu que par une approche systémique. Ainsi, les composantes

environnementales (biotique et abiotique), sociales, économiques et politiques sont identifiées comme les principaux déterminants d'un modèle d'aménagement intégré. Les secteurs de prévention et d'intervention prioritaire se localisent vers l'amont des bassins versants et sont reconnaissables par l'importance des précipitations qu'ils reçoivent suivant un gradient altitudinal. Quatre classes d'occupation des sols en fonction des pentes et des risques environnementaux sont proposées : le seuil maximal d'extension des zones de culture, de maraîchage et de bâtis est de 13° de pente, celui des agro-forêts est atteint à 45°. Le seuil de la déforestation à ne pas dépasser est fixé à 45° de pente. Un cordon végétal est proposé le long des rives pour limiter les impacts de la morphodynamique et l'hydrodynamique et assurer la fonction d'un corridor biologique. Des impluviums peuvent être privilégiés pour une meilleure gestion de la ressource en eau.

Enfin, nous admettons que des contraintes difficiles à surmonter sont toujours présentes même en aménagement intégré : aléas climatiques imprévisibles, forte extension des girofliers moins favorable aux écoulements mais économiquement rentables, problèmes fonciers, etc. En dépit de la complexité de la situation foncière et des pratiques culturelles, le regroupement des terres en différentes classes nous paraît comme un premier pas vers l'utilisation correcte des terres [Stapleton, 1986]

L'intérêt de l'étude du fonctionnement intégré d'un bassin versant n'est pas seulement académique mais doit, tout particulièrement dans le contexte d'un pays en développement comme les Comores, être valorisé par un apport plus concret pour éclairer les pratiques d'aménagement. Le modèle présenté ici ne doit pas prétendre être une préconisation d'actions à appliquer comme une recette ni un programme opérationnel dogmatique mais il peut utilement offrir aux aménageurs un cadre de référence.

Conclusion générale

La présente recherche sur « la dynamique d'évolution des géosystèmes » en milieu tropical humide insulaire réalisée à Anjouan avait pour objectif de répondre à une problématique d'actualité et de préoccupation majeure : la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants.

Les connaissances préliminaires acquises par la documentation ont conduit à considérer le bassin versant comme étant l'unité idéale pour appréhender d'une manière systémique le fonctionnement hydrologique d'un espace donné. La démarche scientifique mise en œuvre pour aborder cette problématique de la perturbation hydrologique a privilégié une double approche naturaliste et sociale. Nous nous sommes appuyés dans notre démarche sur le concept de géosystème considéré comme fédérateur de ces deux approches puisqu'il met en évidence l'interaction entre les composantes biotiques, abiotiques et anthropiques dans un espace-temps bien défini. Ces trois composantes sont en interaction permanente dans les bassins versants anjouanais qui sont désormais assimilés à des géosystèmes.

A l'aboutissement de ce travail, nous pouvons établir un bilan critique de nos apports tant en termes méthodologiques que pour la compréhension de l'hétérogénéité et la complexité de nos bassins versants.

D'un point de vue méthodologique, notre travail met en œuvre la combinaison de résultats issus de plusieurs approches :

- des données écologiques issues des relevés botaniques et pédologiques et des observations du terrain ;
- des informations spatiales tirées des images SPOT et QuickBird de GoogleEarth, des photographies aériennes multi-dates, des Modèles Numériques de Terrain – MNT, etc. ;
- des statistiques climatiques (de WorldClim et de la station de l'aérodrome d'Ouani) et démographiques multi-dates ;
- des enquêtes sur les représentations paysagères des institutionnels et des habitants, la trajectoire historique des milieux (peuplement, évolution des cours d'eau, événements catastrophiques, etc.), l'utilisation et la gestion des ressources des bassins versants, plus particulièrement la flore, le sol et l'eau ;
- et de l'évaluation de la vulnérabilité des espèces floristiques d'intérêt socio-économique et culturel des bassins versants ;

Ces résultats ont permis de caractériser les bassins versants, de mettre en évidence les premiers éléments d'explication de la perturbation de leur fonctionnement hydrologique et d'apporter des éléments de réponses tenant compte des composantes sociales et environnementales.

Cette première étape d'analyse révèle l'hétérogénéité et la complexité du milieu et la nécessité d'une démarche systémique. Bien que de taille relativement réduite, l'île d'Anjouan, dans son ensemble, n'est pas suffisamment homogène pour pouvoir généraliser nos observations des phénomènes naturels relatifs à la problématique de l'eau. L'hétérogénéité a été confirmée pour différentes composantes des milieux physiques et biophysiques :

- La composante **géologique** est structurée autour de différentes phases de formations (construction d'un bouclier central, formation des presqu'îles, érosion, formation et comblement des vallées et poursuite de l'érosion) ;

- La composante **hydrogéologique** est constituée d'une diversité de nappes d'eau souterraines, perchées, alluviales et d'aquifères de coulée de vallée mais faiblement documentées jusqu'à présent ;

- La composante **morphologique** est marquée de grandes différences altitudinales et de morphologie irrégulière (un massif central élevé et accidenté, une façade littorale avec des plaines restreintes et trois péninsules) ;

- La composante **hydrographique** se répartit en quatre grands domaines (Nord, Est, Sud-Ouest, Nord-Ouest) de morphométrie variée ;

- La composante **climatique** est diversifiée à l'échelle locale sous l'effet des expositions (aux vents *Kaskazi*, *Kusi*, *Matulay* et *Mnyombeni*) et des variables altitudinales responsables des inégales répartitions pluviométriques et thermiques dans l'espace et dans le temps ;

- La composante **pédologique** est marquée par des sols diversifiés (sols bruns squelettiques, sols rouges latéritiques, alluvions, colluvions, sols hydromorphes, etc.) correspondant à des types d'évolutions différentes (pédogénèses andique, brunifiante, ferrallitique, hydromorphe) [BROUWERS, 1973] ;

- L'**occupation des sols** est diversifiée (forêts, cultures, prairies marécageuses, reboisements, mangroves, agglomérations, jachères herbacées sans ou avec arbres isolés, etc.)

Cette hétérogénéité illustre que le milieu physique et biophysique d'Anjouan présente de nombreuses spécificités à l'échelle locale. Elle témoigne en ce sens d'une complexité de la problématique de l'eau dans l'ensemble de l'île. En effet, les explications qu'on peut avoir pour un cours d'eau temporaire ou à sec dans une localité ne seront pas forcément les mêmes pour une autre. La meilleure façon de cerner les facteurs locaux, qui régissent les dynamiques

de fonctionnement hydrologique de l'île, a été de réduire le champ d'étude en choisissant dans chacun des quatre domaines hydrologiques au moins un bassin versant pilote. Mais vu le temps imparti pour la thèse, nous n'avons retenu que deux bassins versants pilotes à comportements et à caractères hydrologiques différents (écoulements temporaires et permanents, petit fleuve et rivière) pour pouvoir établir des comparaisons entre leurs caractéristiques. Il s'agit des bassins versants Ouzini-Ajaho du domaine de l'Est exposé aux flux *Mnyombeni* du NNE et *Matulay* du SE et Lingoni-Pomoni qui reçoit de plein fouet le *kusi* du Sud. Ils ont une forme allongée selon l'indice de compacité de Gravélius (1,4) et leurs superficies respectives est de 19 km² et 15 km². Le bassin versant Ouzini-Ajaho reçoit vers l'amont 2500 mm et vers l'aval 2000 mm de précipitations suivant les isohyètes annuelles. Celui de Lingoni-Pomoni enregistre une moyenne de 2500 mm. Le premier dispose d'un cours d'eau saisonnier et le second permanent mais son débit diminue en fonction des périodes pluvieuses.

En mettant en comparaison les caractéristiques morphologiques, morphométriques et biophysiques de ces deux bassins versants, en analysant leur dynamique d'évolution à partir des données multi-dates et en tenant compte des témoignages, nous avons pu identifier les facteurs de la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants.

L'étude comparative de ces deux bassins versants a montré que la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins est liée à des facteurs naturels exacerbés par l'action anthropique. Les écoulements discontinus ou saisonniers des cours d'eau d'Anjouan relèvent sans doute en premier lieu de la géologie du milieu. On a pu supposer qu'il existe un dyke ou un substrat compact qui limite la connectivité entre les nappes aquifères et le cours d'eau concerné, par exemple celui de Havundrékuni. La seconde hypothèse serait que la structure géologique n'a pas permis la mise en place d'un réservoir de nappes souterraines ou perchées ou de coulées de vallée suffisamment importantes pour alimenter en permanence les sections de chenaux à sec. Cette deuxième conjecture paraît la plus plausible car au niveau superficiel, le lac Dziadéngué supposé alimenter le cours d'eau Havundrékuni-Ajaho dans le bassin versant Ouzini-Ajaho ne peut avoir qu'une contribution réduite. Seuls des calculs sur le bilan hydrique confirmeront ou réfuteront cette hypothèse.

Les observations actuelles confirment que le petit fleuve Lingoni-Pomoni a l'avantage de recevoir des affluents permanents contrairement à la rivière Havundrékuni-Ajaho. Dans ce cas, la discontinuité des écoulements peut être liée à l'absence d'affluents permanents puisque ces derniers contribuent à l'alimentation du cours d'eau principal. A ce niveau d'observations, mérite d'être posée la question de la morphologie des sections des chenaux touchées par ce

phénomène. On peut donc constater que la plupart d'entre elles sont dotées de profils en long parmi les moins pentus (inférieur à 73,8 %) ou encombrés de blocs de roches ou fortement ensablés, ce qui ne favorise pas le drainage superficiel.

Tenant compte des facteurs naturels, la diminution des débits des cours d'eau d'Anjouan en général, et en particulier dans les bassins étudiés, est liée en partie aux caractéristiques physiques du milieu évoquées plus haut. Celles-ci sont en rapport avec les conditions climatiques dont la saisonnalité et l'augmentation des températures sont en parallèle avec l'évapotranspiration. Les pluies diluviennes et les cyclones sont responsables de la morphogénèse (mouvements de masse et décapage), de l'agressivité des crues, des inondations et de l'encombrement du chenal principal par du sable favorisant les sous-écoulements. Ces phénomènes sont exacerbés par les mutations de l'occupation du sol qui se traduisent par un recul de la couverture forestière, une extension croissante des girofliers forts consommateurs d'eau et un étalement urbain. Vient s'ajouter à cela le changement des modes d'exploitation et de mise en valeur des ressources : développement des distilleries d'ylang-ylang le long des cours d'eau nécessitant plus d'eau et de bois, utilisation croissante des tronçonneuses en forêt accélérant le rythme de la déforestation, captages de type gravitaire des cours d'eau et des sources en amont pour répondre à des besoins croissants en eau et extraction démesurée de sable alluvial directement dans le lit mineur des cours d'eau. Tout cela a entraîné une perturbation hydro-dynamique et morpho-dynamique modifiant ainsi les conditions d'infiltration des eaux dans le sol, entraînant la diminution des débits des écoulements, transformant des cours d'eau permanents en cours d'eau temporaires, favorisant l'augmentation des mouvements de masse et des décapages et renforçant l'agressivité des crues.

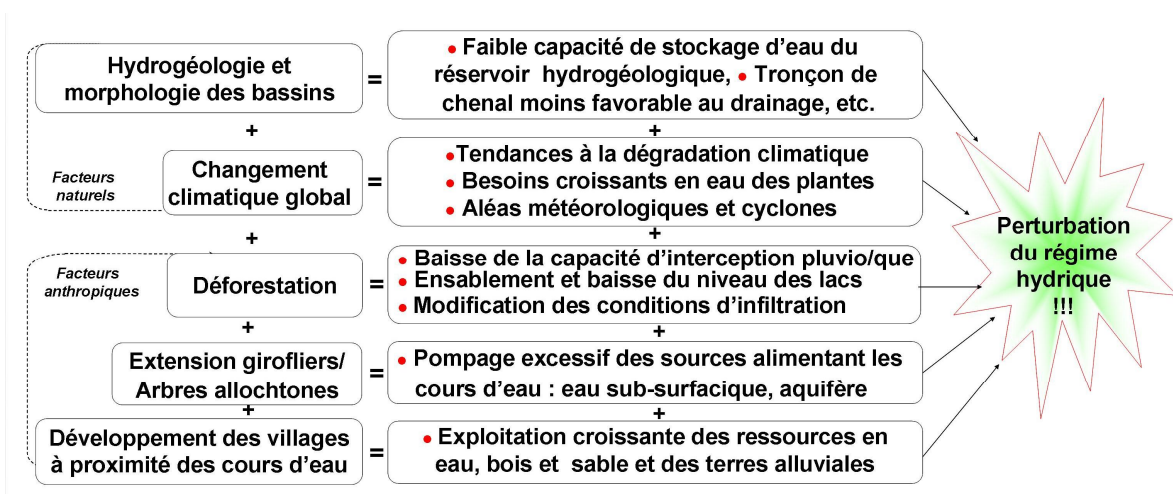


Figure 102-Facteurs de la perturbation du fonctionnement hydrologique

Cette étude de la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants débouche sur un constat de complexité des processus. Les facteurs à l'origine sont multiples et interagissent d'amont en aval. Les mesures techniques à elles seules ne suffisent pas à affronter les problèmes des bassins versants, d'où la nécessité d'un modèle d'aménagement intégré.

Les résultats de l'enquête sur les représentations de trois unités paysagères (forêt, cultures et zones bâties) montrent que les espaces forestiers et cultureux restent les plus importants pour les habitants, les institutionnels et les écogardes en comparaison aux zones bâties. Il ressort de ces enquêtes que ce sont les fonctions culturelles qui sont ici en jeu avec les fonctions économiques, écologiques et de régulation liées au caractère protecteur de la forêt. Dans les représentations des trois états saisonniers des cours d'eau, à sec, en crue et en étiage, une grande importance est donnée au dernier, étant donné qu'au regard des riverains et des écogardes, en étiage les cours d'eau fournissent une eau limpide et consommable, et permettent d'autres activités comme la lessive et la baignade. En se référant à d'autres usages, ce regard peut changer, comme par exemple les institutionnels qui préfèrent les cours d'eau en crue pour des raisons de production hydroélectrique. Cela montre la distance qui existe entre les représentations des institutionnels, qui maîtrisent les décisions finales des choix d'aménagement, et les usagers locaux. Cette démarche d'enquête, même simplifiée et rapide, a permis d'acquérir des informations sur les aspirations des parties prenantes concernant les unités paysagères. Étant donné que de nombreux projets de reboisements et d'aménagements ont échoué en milieu rural, probablement du fait de l'inadéquation entre les objectifs des porteurs de projet et les attentes des principaux bénéficiaires, la compréhension des aspects relationnels entre les institutionnels porteurs du projet et les paysans concernés doivent être privilégiée. Sachant qu'au regard du paysan c'est la terre qui le fait et qui le nourrit, il est nécessaire de chercher à comprendre les liens historiques entre lui et sa terre pour évaluer le degré d'attachement, pour comprendre la manière dont sont prises les décisions au sein de la paysannerie et prendre en compte leur savoirs et savoir-faire locaux en termes d'utilisation et de gestion des ressources.

Ainsi, c'est en combinant les savoirs locaux avec les savoirs académiques, qu'il a été possible d'identifier les espèces floristiques supposées entretenir les écoulements hydrologiques (*Ficus lutea*, *Ficus sp.* (*Chihi*), *Anthocleista grandiflora*, *Dracaena reflexa*, etc.), et constituant par ailleurs l'habitat et la principale nourriture d'une « faune menacée » ainsi que d'intérêt socio-économique majeur (construction, planches, énergie pour la cuisson et la distillerie, l'alimentation, la pharmacopée traditionnelle et les pâturages). Toutes

économiquement recherchées pour leur bois et endémiques, sauf la dernière, *Khaya comorensis*, *Weinmannia comorensis*, *Ocotea comorensis*, *Tambourissa kirkii*, *Phyllanthus pervilleanus* et *Brachylaena ramiflora* ont été classés dans la catégorie des espèces les plus vulnérables d'après l'évaluation sociale de la vulnérabilité floristique mise en œuvre dans cette recherche. Toutes ces espèces méritent donc d'être privilégiées lors des programmes de restauration écologique ou de reboisement communautaires.

Il convient de s'appuyer sur toutes ces connaissances, qui restent encore lacunaires, pour la recherche d'une solution à la problématique de l'eau. Il a été notamment primordial de procéder d'abord à une analyse critique du rôle des différentes composantes dans la dégradation du fonctionnement hydrologique. Ainsi, concernant le facteur climatique, les analyses des statistiques témoignent qu'Anjouan est une île tropicale humide qui reçoit en moyenne 1789 mm de précipitations avec « une saison sèche peu marquée ». Contrairement aux discours tenus et aux rapports institutionnels, on ne peut donc pas parler d'un assèchement des cours d'eau à Anjouan en comparaison aux milieux tropicaux semi-arides. Par contre, la perturbation ou la dégradation du fonctionnement hydrologique des bassins versants est un fait avéré. Quant au rôle de la déforestation sur l'eau, la plupart des études avancent qu'il n'y a aucune preuve scientifique que la déforestation soit une cause significative du changement des tendances pluviométriques à proximité des zones concernées et il n'y a actuellement pas de consensus scientifique sur les effets de la déforestation ou du reboisement sur les ressources en eau aussi bien d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Par ailleurs, si le rôle de la forêt sur la protection du sol est confirmé, il reste limité face à des pluies diluviennes qui s'abattent sur les versants. Enfin, contrairement aux affirmations, la croissance démographique à Anjouan ne peut être considérée comme la cause principale de la dégradation ou de la diminution des ressources naturelles ; elle contribue plutôt à l'accélération des processus en cours.

Ces éclaircissements nous ont permis de définir le plus objectivement possible les critères de sensibilité des milieux physiques aux risques naturels. Les précipitations, les pentes, les types de sols et l'occupation des sols sont considérés parmi les critères qui déterminent la vulnérabilité des milieux face à ces risques. En combinant tous ces éléments, il nous a été possible d'établir un modèle d'aménagement s'appuyant sur les résultats scientifiques et les spécificités socio-économiques du terrain. Il s'agit d'un modèle d'aménagement qui intègre les composantes environnementales (biotique et abiotique), sociales, culturelles, économiques et politiques. Les types d'occupation des sols simulés sont fonction du degré d'inclinaison des pentes et des risques environnementaux : le seuil maximal

d'extension des zones de culture, de maraichage et de bâtis est de 13° de pente, celui des agro-forêts est atteint à 45°. Le seuil de la déforestation à ne pas dépasser est fixé à 45° de pente. Un cordon boisé de 10 m de large au moins sera nécessaire sur les deux rives des cours d'eau. Il est également intéressant de favoriser les retenues collinaires pour l'alimentation en eau des villages. Le seuil de la déforestation proposé pourra servir dans les programmes nationaux de reboisement en cours. Suivant les besoins, les classes de pentes définies peuvent être subdivisées en sous-classes ou adaptées à d'autres situations d'aménagements ruraux à l'échelle de l'archipel. En dépit de la complexité de la situation foncière et des pratiques culturelles, le regroupement des terres en différentes classes nous paraît comme un premier pas vers l'utilisation correcte des terres.

La méthodologie mise en œuvre et le modèle d'aménagement proposé, avec toutes les limites qu'ils puissent encore présenter, pourront servir comme éléments de référence pour la documentation des processus à l'œuvre dans les autres régions d'Anjouan et pour proposer des plans de gestion adaptés. Cependant, le modèle présenté ici ne doit pas prétendre être une préconisation d'actions à appliquer partout comme une recette encore moins un programme opérationnel dogmatique, mais il peut utilement offrir aux aménageurs un cadre de référence.

Les résultats de cette recherche viennent également relativiser le credo de rigueur dans les services en charge de l'environnement et de l'aménagement du territoire à Anjouan qui voient dans les reboisements systématiques l'unique solution au problème de la dégradation du régime hydrique de l'île.

Avant de clore cette conclusion, soulignons que la présente thèse a débuté par un projet sur l'« Ecogéographie des forêts galeries à Anjouan : inventaires floristiques, caractérisation écologique, cartographie, schéma de restauration et plan de gestion ». Après la deuxième année de doctorat, elle a changé de tournure vers les « Dynamiques d'évolution des géosystèmes en milieu tropical humide insulaire : approche par les bassins versants d'Anjouan aux Comores ». L'annexe D donne des précisions sur la genèse et les enseignements de cette thèse.

Bibliographie et webographie

A

- ABDOURAHMAN B. H. [2000]**- Rapports nationaux sur le secteur forestier (Comores). *In : Collecte et analyse de données pour l'aménagement durable des forêts - Joindre les efforts nationaux et internationaux. Actes de l'atelier sous-régional sur les statistiques forestières et perspectives pour le secteur forestier des îles de l'Océan Indien, Andasibe, Madagascar, Annexe VI, p.47-52.*
- ACOT P. [1998]**- Ecologie humaine et idéologie. *In : Ecologie et société. Actes et Rapport pour l'éducation. EDUCAGRI, CRDP Dijon, p. 15-24.*
- ADAM Ph., DEBIAIS N., GERBER F. & LACHAT B. [2008]**- *Le génie végétale. Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques.* Paris : LA DOCUMENTATION FRANCAISE, 290 p.
- ADJANOHOUN E. J., AKE AUSSI L., AHMED A., EYME J., GUINKO S., KAYONGA A., KEITA A. & LEBRAS M. [1992]**- *Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques aux Comores.* Agence de Coopération Culturelle et Technique, 2^e éd., 216 p.
- AGRAR - UND HYDROTECHNIK GMBH [1987]**- *Carte d'occupation des terres aux Comores.* RFIC : Ministère de la Production, du Développement Rural, de l'Industrie et de l'Artisanat., 51 p.
- AINOUDINE S. [2000]**- Anjouan : La politique de concession au XIX^e siècle. *Ya Mkobe.* n°6-7, p. 37-44.
- AMAT J.-P., CŒUR C. L. & DORIZE L. [2008]**- *Éléments de géographie physique.* 2^{ed}. Paris : BREAL, 461 p.
- AMAT J.-P., DORIZE L., GAUTIER E. & LE CŒUR C. [2002]**- *Eléments de la géographie physique.* 1^e éd. Rosny : BREAL, 448 p.
- AMBE G.-A. & MALAISSE F. [s.d.]**- Diversité des plantes médicinales et ethno-taxonomie en pays malinké de Côte d'Ivoire. *In : Des sources du savoir aux médicaments du futur. From the sources of knowledge to the medicines of the future.* p.333-338
- AMBROISE B., AUZET A.-V., HUMBERT J., NAJJAR G., MERCIER J.-L., PAUL P., VIVILLE D. [1995]**- Le cycle de l'eau en moyenne montagne tempérée : apport des bassins versants de recherche vosgiens (Ringelbach, Strengbach, Fecht). *In: Annales de Géographie.* http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1995_num_104_581_13868 (Consulté le 22/11/12).
- AMIR A. [2006]**- *Apports de la télédétection et des SIG à la définition de la sensibilité des sols à l'érosion et au suivi de l'occupation des sols sur l'île d'Anjouan.* Mémoire de Master 2 en Sciences de l'Information Géographique, Université de Marne-la-Vallée, 54 p.
- AMIR A. [2010]**- *Contribution de la télédétection et des SIG au suivi de l'environnement et des risques naturels sur les îles Comores.* Thèse de Doctorat en Sciences de l'Information Géographique, Université Paris-Est & Université d'Antananarivo, 131 p.
- ANDILYAT M. A. [2007]**- *Etude écologique de la forêt du mont karthala (Grande-comore): Ethnobotanique, Typologie, Régénération naturelle, Evolution spatio-temporelle et Zonation potentielle en site de conservation.* Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo, 89 p.

- ANLI M. [2008]-** *Etude écologique de dix espèces végétales les plus utilisées des massifs forestiers du mont Mzékukulé (Mohéli). Statuts écologiques, caractérisation de l'habitat, distribution géographique en vue d'une création d'une Aire Protégée terrestre.* Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo, 91 p.
- ARCHAMBAULT M., LHENAFF & VANNEY J.-R. [1999]-** *Documents et méthode pour le commentaire de cartes. Géographie et géologie. Premier fascicule. 2^e éd., Paris : ARMAND COLIN, 101 p.*
- ASTUDILLO M.F. [2012a]-** *Cartographie des ressources en eau dans la forêt de Moya : Problématiques et priorités d'intervention.* Rapport du Projet ECDD, 21 p.
- ASTUDILLO M. F. [2012b]-** *Déboisement et tarissement des rivières à Anjouan. Étude bibliographique.* Rapport du Projet ECDD, 12 p.
- AUBERT G. [1954]-** *Les Sols Latéritiques.* Extrait des Actes et Comptes Rendus du Ve Congrès International de la Science du Sol, Volume I, p. 103-118.
- AUBREVILLE A. [1957]-** Accord à Yangambi sur la nomenclature des types africains de végétation. *Revue Bois des Tropiques*, n° 51, janv-fév., p. 23-27
- AUROKIATOU T. [2010]-** Les savoirs paysans : nature et fonctionnalités. Contribution au débat sur l'utilité des savoirs locaux. *ISDA 2010*. http://hal-auf.archives-ouvertes.fr/docs/00/52/55/42/PDF/Traore_Savoirs-paysans.pdf. (Consulté le 21/03/2014).
- AUROUET A., DEVINEAU J. -L. & VIDAL M. [2005]-** Les facteurs principaux de l'évolution des milieux riverains du Mouhoun près de Boromo (Burkina Faso) : changement climatique ou dégradation anthropique. *Sécheresse*, vol. 16, n° 3, p. 199-207.

B

- BALLOUCHE A., BABA M.L., TAÏBI A.N. & MOGUEDET G. [2007]-** Protection et gestion intégrée de zones humides sahéliennes mauritaniennes : Les lacs d'Aleg et de Mâl (Brakna). In : *Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest ? Conservation de la biodiversité et développement.* IRD, p.486-497.
- BALLOUCHE A. & TAÏBI A. N. [2013]-** Le « dessèchement » de l'Afrique sahélienne : un leitmotiv du discours d'expert revisité. *Autrepart*. Presses des Sciences Po. N° 65, p.47-66.
- BARBAULT R. [1992]-** *Ecologie des peuplements. Structure, dynamique et évolution.* Paris, Milan, Barcelone, Bonn : MASSON, 273 p.
- BATTISTINI R. & VERIN P. [1984]-** *Géographie des Comores.* Paris : NATHAN, 142 p.
- BERTALANFFY L.V. [1973]-** *Théorie générale des systèmes.* Paris : BORDAS, 306 p
- BERTRAND & BEROUTCHACHVILI N. [1978]-** Le géosystème ou système territorial naturel ?. In : « Géosystème et aménagement ». *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. Vol. 49, p.167-180.
- BERTRAND [1991]-** *La nature en géographie : un paradigme d'interface.* GEODOC, Institut de Géographie, UTM, 16 p.
- BERTRAND G. & BERTRAND C. [2002]-** *Une géographie traversière : l'environnement à travers territoires et temporalité.* Paris : ARGUMENTS, 311 p.

- BERTRAND G. [2002]-** La discordance des temps. *In : Equilibres et ruptures dans les écosystèmes durant les 20 derniers millénaires : durabilité et mutation*. Colloque « Equilibres et ruptures dans les écosystèmes durant les 20 derniers millénaires ». Besançon, 18-22, 09, 2000 – France, Besançon, 2002, Presses Universitaires Franco-comtoises, Collection Annales Littéraires, série Environnement, Sociétés, Archéologie, p.15-23.
- BERTRAND G. [1968]-** Paysage et géographie physique globale : esquisse méthodologique. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. Vol. 39, p. 249-272.
- BERTRAND G. [1978]-** La géographie physique contre nature ? *GEODOC*, Institut de Géographie, UTM, 35 p.
- BINOT A. & JOIRIS D. V. [2006]-** Règles d'accès et gestion des ressources pour les acteurs des périphéries d'aires protégées : foncier et conservation de la faune en Afrique subtropicale. *Revue électronique en science de l'environnement*, VERTIGO http://www.vertigo.uqam.ca/hors-serie-4/hors-serie4_chap_1/frame_article.html (Consulté le 2/06/08).
- BLANCHET A., GHIGLIONE R., MASSONNAT J. & TROGNON A. [2000]-** *Les techniques d'enquête en sciences sociales*. Paris : DUNOD, 197 p.
- BLANC-PAMARD C. & FAUROUX E. [2004]-** « L'illusion participative » Exemples ouest-malgaches. *Autrepart*. N° 31, p. 3-19.
- BLANC-PAMARD C. & RAKOTO RAMIARANTSOA H. [2008]** - La gestion contractualisée des forêts en pays Betsileo et Tanala (Madagascar). *Cybergeog : European Journal of Geography*. <http://cybergeog.revues.org/19323> (Consulté le 06/06/2013).
- BLANDIN P. [2009]-** *De la protection de la nature au pilotage de la biodiversité*. Versailles : QUAE, 124 p.
- BLONDEL J. [2005]-** Biodiversité et sciences de la nature : l'émergence d'un concept. *In : Les biodiversités : objets, théories, pratiques*. Paris : CNRS, p. 23-36
- BOINALI M. [1982]-** *Géologie et esquisse hydrologique de l'archipel volcanique des Comores*. Mémoire de D.E.A en hydrogéologie, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 29 p.
- BONN F. & ROCHON G. [1992]-** *Précis de la télédétection : Principes et Méthodes*. Vol 1. Québec : PUQ/AUPELF, 485 p.
- BONNEWITZ P. [2002]-** *Premières leçons sur la sociologie de Pierre Bourdieu*. 2^e éd. Paris : PUF, 124 p.
- BOUDET G. & PAGOT J. [1975]-** *Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères*. 2^e ed, Ministère de la Coopération, IEMVT, ORSTOM, 254 p.
- BOUZOU M.I. & YAMBA B. [2008]** - Savoirs locaux et gestion des écosystèmes sahéliens. *Les Cahiers d'Outre-Mer*. <http://com.revues.org/index3762.html> (Consulté le 21/03/14).
- BRAND J., HEALY T., KECK A., MINTEN B. & RANDRIANARISOA J.-Cl. [2003]-** Mythes et réalités sur l'aménagement des bassins versants : effet de la déforestation des versants sur la productivité des bas-fonds. *In : Agriculture, pauvreté rurale et politiques économiques à Madagascar*. Madagascar: USAID, CORNELL, INSTAT & FOFIFA. p. 82-85.
- BRAVARD J-P. & PETIT F. [2000]-** *Les cours d'eau : Dynamique du système fluvial*. Paris : ARMAND COLIN, 2^e éd. 222 p.
- BROUWERS M. [1973]-** *Anjouan : Inventaire des terres cultivables et de leurs aptitudes culturales*. Rapport I, IRAT, 96 p.

BROUWERS M., LATRILLE Ed. & SUBREVILLE [1977]- *Les terres cultivables des Comores*. Synthèse, IRAT, 49 p.

BRUNET R. [1987]- *La carte : mode d'emploi*. Paris : FAYARD/RECLUS, 269 p.

BUREL F. & BAUDRY J. [1999]- *Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications*. Paris, TEC et DOC, 359 p.

C

CALDER I. [2005]- Les forêts permettent-elles réellement de diminuer le ruissellement et de réguler le débit des eaux en période sèche?. In : *La nouvelle génération de programmes et de projets d'aménagement des bassins versants*. [2008], Rome : FAO, p.16.

CALOZ R. & COLLET [2001]- *Précis de la télédétection : Traitements numériques d'images de télédétection*. Vol 3. Québec : PUQ/AUF, 386 p.

CARLES J. [1963]- Géographie botanique : Etude de la végétation. *Que sais-je*. Paris : PUF, 128 p.

CHAGNOU H. & HARIBOU A. [1980]- Les Comores. *Que sais-je*, PUF, Paris, 127 p.

CHAPERON P., DANLOUX J. & FERRY L. [1995]- *Fleuves et rivières de Madagascar*. Paris : IRD, DMH, CNRE (Madagascar), 874 p.

CHARMOILLE A. [2013a]- *Ebauche du fonctionnement hydrogéologique de l'île d'Anjouan (Comores) : Typologie des ressources en eau disponibles et discussion sur l'impact de la déforestation*. Rapport du projet ECDD, 83 p.

CHARMOILLE A. [2013b]- *Mieux comprendre l'hydrogéologie d'Anjouan et l'impact de la déforestation sur la disponibilité des ressources en eau*. <http://www.ecddcomoros.org/fr/2013/05/etude-hydrogeologique-fr/> (Consulté le 07/09/13).

CHAVE J. [2000]- Dynamique spatio-temporelle de la forêt tropicale. *Ann. Phys. Fr.* 25. n° 6. EDP Sciences. <http://www.edb.ups-tlse.fr/equipe1/chave/annphys-00.pdf>. (Consulté le 8/06/08).

CHESNAIS J. Cl. [1995]- La démographie. *Que sais-je ?*. Paris : PUF, 3^e édition, 127 p.

CHOUQUER G. [2000]- *L'étude des paysages : Essais sur leurs formes et leur histoire*. Paris : EDITIONS ERRANCE, 208 p.

CLAUDIN J., BERNARD-BRUNET J. & JOLIVEAU T. [1998]- *La cartographie pour la gestion des espaces naturels*. Actes de rencontres internationales, Colloque et Séminaire - Saint - Etienne. CRENAM, 478 p.

CLEMENT V. [1994]- Contribution épistémologique à l'étude du paysage. In: *Mélanges de la Casa de Velázquez*. Tome 30-3. http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/casa_0076-230X_1994_num_30_3_2718 (Consulté 10/11/12).

CLEWELL A.F. & ARONSON J. [2010]- *La restauration écologique : principes, valeurs et structure d'une profession émergente*. Le Méjan, ACTE SUD, 340 p.

CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE MASCARIN (BOULLET V. coord.) [2011]- *Index de la flore vasculaire de Mayotte (Trachéophytes) : statuts, menaces et protections*. - Version 2011.1 (mise à jour du 01 août 2011). Conservatoire Botanique National de Mascarin, Antenne de Mayotte - Coconi - Disponible à <http://floremaore.cbnm.org> (Consulté le 03/03/14).

- COQUE R. [1977]-** *Géomorphologie*. Paris : ARMAND COLIN, 430 p.
- COSANDEY Cl. [2006]-** *Conséquences des forêts sur l'écoulement annuel des cours d'eau*. Rev. For. Fr. LVIII. http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/6702/150_DPI_317_328.pdf?sequence=1 (Consulté le 26/04/14).
- COUDERCHET L. [2008]-** *Le paysage comme paradigme, discussion sur les zonages écologiques et paysagers et leur production*. Dossier d'HDR, Géographie physique, humaine, économique, Université de Bordeaux 3, 318 p.
- COUZY A. [1981]-** *La télédétection. Que sais-je ?* PUF, 126 p.
- CUBIZOLLE H. [1997]-** *La Dore et sa vallée : Approche géohistorique des relations homme – milieu fluvial*. Publications de l'Université de Saint-Etienne. 389 p.

D

- DA LAGE A. & METAILIE G. [2005]-** *Dictionnaire de Biogéographie végétale*. Paris : CNRS, 579 p.
- DAGET Ph. & GODRON M. [1982]-** *Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés*. Paris : MASSON, 163 p.
- DAROSSI O. A. [2006]-** *Etude écologique des espèces végétales les plus utilisées de l'île d'Anjouan (Comores) : cas des forêts humides du mont Ntringui*. Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo, 97 p.
- DAVIES R. [2008]-** *Guide des plantes ligneuses des Comores : arbres, arbustes et lianes*. Version HTML
- DEBEUF D. [2004]-** *Etude de l'évolution volcano-structurale et magmatique de Mayotte (Archipel des Comores, Océan Indien). Approches structurale, pétrographique, géochimique et géochronologique*. Doctorat en Sciences de la Terre, Volcanologie, Université de La Réunion, 277 p.
- DENEGER J. & SALGE F. [1996]-** *Les systèmes d'Information Géographique. Que sais-je?* Paris, PUF, 127 p.
- DEWOLF Y. [1975]-** Les sols ferrallitiques, par Y. Chatelin. In: *Annales de Géographie*. N° 464. http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1975_num_84_464_19709 (Consulté le 19/02/13).
- DGE (Direction Générale de l'Environnement) [1993]-** *Diagnostic de l'état de l'environnement aux Comores*. Projet d'appui à la programmation nationale en matière d'environnement PNUD/UNESCO/UICN/COI/91/006, 80 p.
- DGE (Direction Générale de l'Environnement) [1998]-** *Rapport intérimaire sur l'élaboration d'une stratégie nationale et d'un plan d'action en matière de diversité biologique en République Fédérale Islamique des Comores*. Projet PNUD-FEM COI/97/G31/A/1G/99. <http://www.cbd.int/doc/world/km/km-nr-01-fr.pdf> (Consulté le 01/06 /08).
- DGE (Direction Générale de l'Environnement) [2000]-** *Stratégie nationale et plan d'action pour la conservation de la diversité biologique en RFI des Comores*. <http://www.cbd.int/doc/world/km/km-nbsap-01-fr.pdf> (Consulté le 08/09/09).
- DGE (Direction Générale de l'Environnement) [2002]-** *Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique. Communication Nationale Initiale*. Union des Comores, 57 p.

- Di SALVO M. & TROISPOUX G. [2001]**- *La 3^e dimension géographique : Utilisation des modèles numériques de terrain illustrée par la BD Altimétrique de l'IGN*. Lyon : DOCUMENTATION FRANÇAISE (LA), 98 p.
- DIRECTION DE LA STATISTIQUE [1984]**- *Recensement Général de la Population et de l'Habitat du 15 septembre 1980*. Volume II : tableaux statistiques du recensement de la population. RFIC : Direction Générale du Plan, 296 p.
- DNR (Direction Nationale du Recensement) [1993]**- *Principaux résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat du 15 septembre 1991*. RFIC, 35 p.
- DNR (Direction Nationale du Recensement) [2005]**- *Principaux résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat du 15 septembre 2003*. Comores : Commissariat Général au Plan, 25 p.
- DOLIDON H. [2007]**- La multiplicité des échelles dans l'analyse d'un phénomène d'interface nature/société. L'exemple des feux de brousse en Afrique de l'ouest, *Cybergeo*, Environnement, Nature, Paysage, article 363, mis en ligne le 08 mars, <http://www.cybergeo.eu/index4805.html> (Consulté le 01/10/10).
- DONADIEU P. & PERIGORD M. [2005]**- *Clés pour le paysage*. Paris : GEOPRYS, 368 p.
- DONQUE G. [1975]**- *Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar*. Thèse de Doctorat en géographie, Université de Madagascar, 478 p.
- DOSSAR M. B. [1994]**- Problématique de la lutte contre l'érosion hydraulique sur l'île d'Anjouan (Comores). *Environnement en milieu tropical*. ESTEM, p.67-78.
- DOULTON H. & COLLEGE M. [2005]**- *Conservation Comores 2005. Evaluation de la biodiversité et de l'usage des ressources et la sensibilisation environnementale*. Rapport préliminaire, Université d'Oxford, CNDRS, ACA et AIDE, 20 p.
- DOUMENGE, F. [1984]**- Unité et diversité des caractères naturels des îles tropicales. In : *Nature et hommes dans les îles tropicales : réflexions et exemples*. CRET Bordeaux III & CEGET (CNRS.), p. 9-24.
- DOUNIAS E. [2004]**- *Introduction à l'étude des ethnosciences : définitions, champs d'application, bibliographie*. Module Ethnoécologie et Environnement. 35 p.
- DOZON J.-P. [1988]**- Développement, sciences sociales et logique paysanne en Afrique Noire. *Kasa Bya Kasa - Revue Ivoirienne d'Anthropologie et de Sociologie*. N° 10, p.68-74
- DRENOU Ch. [2006]**- *Les racines: face cachée des arbres*. Paris : Institut pour le Développement Forestier, 340 p.
- DUCKWORTH J.W., TIMMINS R.J. & MUDDAPA D. [2008]**- *Viverricula indica*. In: *IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2011.1. www.iucnredlist.org. (Consulté le 08/09/11).
- DUFOUR S. [2005]**- *Contrôle naturels et anthropiques de la structure et de la dynamique des forêts riveraines des cours d'eau du bassin rhodanien (Ain, Arve, Drôme et Rhône)*. Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université Jean Moulin Lyon 3, 244 p.
- DUFOURNET R. [1972]**- Régimes thermiques et pluviométriques des différents domaines climatiques de Madagascar. *Madagascar Revue de Géographie*. CNRS/ AGM, n°20, 183 p. 25-110.
- DURANT D. [1979]**- La systémique. *Que sais-je ?*. 2^e éd., Paris : PUF, 99 p.
- DUVIGNEAUD P. [1982]**- *La synthèse écologique*. 2^e éd., Paris : DOIN, 380 p.

E

- EMBERGER L., GODRON M., DAGET P., LONG G., LE FLOC'H E., POISSONET J., SAUVAGE C., & WACQUANT J.-P. [1983]-** *Code pour le relevé Méthodique de la végétation et du milieu*. Anatole : Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, 292 p.
- ESTUPINA [2011]-** *Le bassin versant : définition, comportement hydrologique, caractéristiques, temps de concentration*. Cours d'Hydrologie Générale, Université de Montpellier.

F

- FADC (Fonds d'Appui au Développement Communautaire) [2006]-** *Plan de Développement Local 2006 - 2012 : Communauté de Ouzini*. 46 p.
- FAO & MAPE [2009]-** *Suivi et évaluation des ressources forestières nationales – Inventaire Forestier National de l'Union des Comores – Manuel de terrain. Version 1.0*. Document de travail du Programme d'appui au suivi et à l'évaluation des ressources forestières nationales SERFN xx/F. Rome, Moroni. 133 p.
- FAO [2008]-** *La nouvelle génération de programmes et de projets d'aménagement des bassins versants*. Rome : FAO, 139 p.
- FAO [2009]-** *Pourquoi investir dans la gestion des bassins versants ?*. Rome : FAO, 31 p.
- FARINA A. [1998]-** *Principles and methods in landscape ecology*. London: CHAPMAN & HALL, 235 p.
- FAUJOUR A. [1999]-** *Contribution à l'amélioration des soins de santé primaires par une investigation scientifique de pharmacopée traditionnelle populaire des Comores*. Bilan de la phase pilote du projet, Comores : CNDRS. 247 p.
- FFOLIOTT F., THAMES J.L. & BAUMER M. [1986]-** *Planifier la reforestation rurale. Environnement africain*. Dakar : ENDA & CODEL, 158 p.
- FILLERON J.-C. [1995]-** *Essai de géographie systématique : les paysages du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire*. Thèse d'Etat, Université de Toulouse-Le Mirail. http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/13/07/87/PDF/these_filleron.pdf (Consulté le 25/09/10).
- FOUCAULT A. [2009]-** *Climatologie et paléoclimatologie*. Paris : DUNOD, 308 p.
- FOURNIER F. & SASSON A. [1983]-** *Ecosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique*. Textes compilés, ORSTOM, UNESCO, p. 77-101.
- FRENKEN K. [2005]-** *L'irrigation en Afrique en chiffres. Enquête AQUASTAT*. Rapport sur l'eau, Rome : FAO. 637 p.
- FREUDENBERGER K. Sc. [1999]-** *La MARP. Notes d'accompagnement à un cours théorique*. Fianarantsoa, Madagascar, s.p.
- FRITSCH J.-M. [1995]-** *Occupation des sols et régimes hydrologiques : les enseignements des bassins versants guyanais*. In : *Annales de Géographie*. http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1995_num_104_581_13867 (Consulté le 22/11/12).

G

- GANGBAZO G. [2004]**- *Gestion intégrée de l'eau par bassin versant : concepts et application*. Québec : Direction des politiques de l'eau- Ministère de l'Environnement. 46 p.
- GERMAINE M.-A [2009]**- *De la caractérisation à la gestion des paysages ordinaires de la vallée dans le Nord-ouest de la France : représentations, enjeux d'environnement et politiques publiques en Basse-Normandie*. Thèse de Doctorat en géographie, Université de Caen en Basse-Normandie, 648 p.
- GERMAINE M.-A., PUISSANT A., LESPEZ L. & BALLOUCHE A. [2008]**- *Analyse spatiale et typologie des petites vallées bas-normandes*. Article, http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/27/83/60/PDF/SAGEO06_Gemaine_et_al.pdf (Consulté le 15/11/11).
- GIBLIN B. [2001]**- De l'écologie à l'écologie politique : l'enjeu du pouvoir. De la nécessité de savoir penser l'espace. *Hérodote*, n°100, p.13 – 31.
- GORR W. L. [2008]** - *GIS Tutorial for ArcGIS 10*. California: ESRI Press, 415 p.
- GOUNOT M. [1969]**- *Méthode d'étude quantitative de la végétation*. Paris : MASSON & COMPAGNIE, 314 p.
- GUEBOURG J.-L. [1996]**- *Espace et pouvoirs en Grande Comore*. Paris : L'HARMATTAN, 592 p.
- GUERMOND Y. [2005]**- *Modélisation en géographie : déterminismes et complexités*. Paris : HERMES SCIENCE, 389 p.
- GUEYE B. & SCHOONMAKER F. K. [1991]**- *Introduction à la Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP) : quelques notes pour appuyer une formation pratique*. 2^e éd. London & Argentina: IIED /SAP / BED, 70 p.
- GUNNELL Y. [2009]**- *Ecologie et société*. Paris : ARMAND COLIN, 415 p.
- GWP (Global Water Partnership) & RIOB (Réseau International des Organismes de Bassin) [2009]** - *Manuel de gestion intégrée des ressources en eau par bassin*. 111 p.

H

- HAINES-YOUNG R., GREEN D.R. & COUSINS S.H. [1993]**-*Landscape ecology and geographic information systems*. London, New York, Philadelphia : TYLOR & FRANCIS, 288 p.
- HASSAN E.H., TOUCHART L. & FAOUR G. [2013]**- La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'Ouest de la Bekka au Liban. *Mappemonde*. http://mappemonde.mgm.fr/num37/articles/art_13104.html (Consulté le 31/01/14).
- HASSANI-EL-BARWANE M. [2010]**- *Le système foncier comorien de 1841- 1975*. Thèse de Doctorat en Histoire contemporaine, Université de la Réunion, 339 p.

I

- IBOUROI A.T. [2014]**-*Des Makua et de leurs descendants aux Comores*. Vol. I. Thèse de Doctorat en Histoire, Université de La Réunion. 478 p.
- INRA [1995]**- *Référentiel pédologique*. Paris, INRA, 332 p.
- INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques) [1968]**-*Résultats statistiques du recensement général de la population des Comores effectué en juillet-septembre 1966*. Direction des Territoires d'Outre-mer, 106 p.

J

JOURDAIN T., MAURILLON N. & MOURON R. [2002]- *Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande-Terre (Ile de Mayotte)*. Rapport BRGM/RP-52 193-FR, Mayotte, 111 p.

K

KOECHLIN J. & BOYE M. [1984]- Mayotte, bilan écologique, possibilité de développement, programme d'étude. In : *Nature et hommes dans les îles tropicales : réflexions et exemples*, CRET Bordeaux III & CEGET, p.147-162.

L

LABAT J.-N. KEITH P. & ABOU A. [2006]- *Inventaire faunistique des rivières des Comores et inventaire botanique*. Rapport, MNHN de Paris, 107 p.

LAFFLY D. [2009]- *Approche numérique du paysage: Formalisation, enjeux et applications*. Paris : PUBLIBOOK, 317 p.

LAMBERT R. [1996]- *Géographie du cycle de l'eau*. Toulouse : Presses Universitaires du Mirail. 439 p.

LARDON S., PIVETEAU V. & LELLI L. [2005] - Le diagnostic des territoires. *Géocarrefour*, vol. 80/2, p.71-74.

LAURENT F. [1996]- *Outils de modélisation spatiale pour la gestion intégrée des ressources en eau. Application aux Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux*. Thèse de Doctorat en Hydrologie et Hydrogéologie Quantitative, ENSM de Saint-Etienne et de Paris, 357 p.

LE BOURGEOIS T., CARRARA A., DODET M., DOGLEY W., GAUNGOO A., GRARD P., IBRAHIM Y., JEUFFRAULT E., LEBRETON G., POILECOT P., PROSPERI J., RANDRIAMAMPINANINA J.A., ANDRIANAIVO, ALAIN P., THEVENY F. [2008]-*Advent_OI : Principales adventices des îles du Sud-Ouest de l'Océan Indien*. Cédérom, Montpellier : CIRAD.

LE MOIGNE J.-L. [2006]- *La théorie du système général, théorie de la modélisation*. Réédition. <http://www.mcxapc.org/inserts/ouvrages/0609tsgtm.pdf> (Consulté le 4/09/08).

LEGOFF N. [2010]- Les Comores et l'aléa cyclonique dans le contexte des changements climatiques : la vulnérabilité différenciée d'Anjouan et de Mayotte. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*. <http://vertigo.revues.org/10497> (Consulté le 23/03/12).

LELLI L. & PARADIS S. [2005]- Analyse critique d'un dispositif méthodologique de diagnostic paysager : le cas du bassin versant du Cérrou (Tarn, Midi-Pyrénées). *Géocarrefour* [En ligne], vol. 80/2. URL : <http://geocarrefour.revues.org/1048> (Consulté le 16/12/13).

LEMOIGNE N. [2010] - *Mémoire des hommes, mémoires des sols : Etude ethno-pédologique des usages paysans du mont Cameroun*. Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Bordeaux 3, 430 p.

LETOUZEY R. [1969]- *Manuel de botanique forestière, Afrique Tropicale*. Botanique, Générale Tome 1. Nogents/Marne : Centre Technique Forestier Tropical, 189 p.

- LETOUZEY R. [1970]**- *Manuel de botanique forestière, Afrique Tropicale*. Familles (1^e partie), Tome 2A. Nogents/Marne : Centre Technique Forestier Tropical, 210 p.
- LETOUZEY R. [1972]**- *Manuel de botanique forestière, Afrique Tropicale*. Familles (2^e partie), Tome 2B. Nogents/Marne : Centre Technique Forestier Tropical, 461 p.
- LEVY J. & LUSSAULT M. [2003]**- *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Paris : BELIN, 1034 p.
- LIZET B. & De RAVIGNAN F. [1987]**- *Comprendre un paysage : guide pratique de recherche*. Paris : INRA, 147 p.
- LOCATELLI B. [2000]**- *Pression démographique et construction du paysage rural des tropiques humides : l'exemple de Mananara (Madagascar)*. Thèse de doctorat en Sciences de l'Environnement, ENGREF- Centre de Montpellier, 441 p.

M

- MAHAMOUD M. S. [2004]**- *Contribution géographique à l'étude de la dégradation des paysages et ses conséquences socio-économiques à Anjouan (Comores)*. Mémoire de maîtrise, Université de Toliara. 129 p. (Version préliminaire).
- MAHAMOUDOU S. & AMRI S. [2011]**- *Défendre et restaurer les sols. Que faire ? Quoi faire ? Comment faire ?*. ProGeCo Océan Indien/UE/COI. 119 p.
- MAHAMOUDOU S. [2009]**- *Foncier et société aux Comores. Le temps des refondations*. Paris : KARTHALA, 327 p.
- MALAVOI J-R. & BRAVARD J-P. [2010]**- *Eléments d'hydromorphologie fluviale*. ONEMA, 224 p.
- MANICACCI J. [1938]**- L'archipel des Comores. In: *Annales de Géographie*. N°267, http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1938_num_47_267_11770 (Consulté le 22/11/12).
- MARINI D. [1990]**- *Résultats et Interprétations d'une Campagne de Pompages d'Essai sur des Puits dans les Aquifères de Base. Grande Comore / Inventaire des Ressources en eau de l'île d'Anjouan*. Direction de la Coopération Technique pour le Développement. COI/79/005 et COI/85/001. 130 p ?
- MASSONNAT J. [2000]**- Observer. In : *Les techniques d'enquête en sciences sociales*. Paris : DUNOD, p.17-79.
- MBAIRAMADJI J. [2003]**- *Gestion écosystémique des forêts basées sur la dynamique « acteurs-usages-ressource » : application aux forêts tropicales humides du cameroun*. Thèse de doctorat, Université du Québec. <http://www.irec.net/publications/718.pdf> (Consulté le 28/08/08).
- MDRPAE (Ministère du Développement Rural, de la Pêche, de l'Artisanat et de l'Environnement) [2006]**- *Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques (PANA)*. Rapport, Comores : UNEP/GEF, 76 p.
- MEDDOUR R. [2010]**- *Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie Djurdjurenne*. Thèse de Doctorat en Sciences agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 397 p.

- MINISTERE DE LA COOPERATION [1998]-** *Mémento de l'Agronome*. 4^e éd., Ministère de la Coopération, République française, 1635 p.
- MIRHANI N. [2007]-** *Essai d'analyse écogéographique de la végétation sectorielle du Fiherenana*. Mémoire de maîtrise, Université de Toliara, 110 p.
- MIRHANI N. [2013]-** *Esquisse de la cartographie communale de l'Île Autonome de Ndzuwani (Anjouan)*. Séminaire de formation du 29 au 30 octobre, organisé par le Direction de la Coopération Décentralisée et de la Promotion des Communes, 33 diaporamas.
- MIRHANI N., TAÏBI A.N., BALLOUCHE A. & RAZAKAMANANA T. [2012a]-** *Transitions agraires, climat et régime hydrique en milieu tropical humide insulaire : le bassin versant Ouzini-Ajaho (Anjouan - Comores). Apport de la télédétection satellitaire et aérienne*. Poster scientifique, Doctoriales Régionales, Université de La Réunion/Commission de l'Océan Indien (COI).
- MIRHANI N., TAÏBI A.N., BALLOUCHE A. & RAZAKAMANANA T. [2012b]-** *Dégradation du régime hydrique et modèle d'aménagement en milieu tropical humide insulaire : Le bassin versant Ouzini-Ajaho (Anjouan-Comores). Apport de la Télédétection satellitaire et aérienne et du SIG*. Poster scientifique , 9th International Conference of the African Association of Remote Sensing and the Environment (AARSE)- Maroc.
- MIRHANI N., TAÏBI A.N., BALLOUCHE A. & RAZAKAMANANA T. [2012c]-** *De la dégradation du régime hydrique au modèle numérique d'aménagement en milieu tropical humide insulaire : Le bassin versant Ouzini-Ajaho (Anjouan-Comores)*. Rapport final, Projet Planet Action /SPOT Image, UNESCO, Université d'Angers & Université de Toliara, 31 p.
- MIRHANI N., TAÏBI A.N., BALLOUCHE A. & RAZAKAMANANA T. [2014]-** De la problématique de l'eau au modèle numérique d'aménagement en milieu tropical humide insulaire : Le bassin versant Ouzini-Ajaho (Anjouan - Comores). Actes du Colloque International, *Eaux, Milieux et Aménagement : Une recherche au service des territoires*. Angers : Presses Universitaires d'Angers, p.117-133.
- MPE (Ministère de la Production et de l'Environnement) [2001]-** *Plan d'action environnementale des Comores, bilan et perspectives*. Rapport, 23 p.
- MPE (Ministère de la Production et de l'Environnement) [2002]-** *Profil environnemental de l'union des Comores*. http://www.un.org/jsummit/html/prep_process/national_reports/comoros.pdf (Consulté le 21/10/10).
- MUSY A. [2009]-** *Le bassin versant et son complexe. Hydrologie générale*. Support pédagogique. <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html> (Consulté le 11/ 09/11).

N

- NEBOIT R. [2010]-** *L'homme et l'érosion*. 3^e éd., Clermont-Ferrand : Presses Universitaires Blaise Pascal. 350 p.
- NEURAY G. [1982]-** *Des paysages, Pour qui ? Pour quoi ? Comment ?*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, 589 p.

O

- OLOUKOI J., MAMA V. J. & AGBO F. B. [2006]**- Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des collines au Bénin. *Télédétection*, vol. 6, n° 4, p. 305-323
- OZENDA P. [1964]**- *Biogéographie végétale*. Paris : DOIN, 374 p.

P

- PARIS B. [1999]**- *Espèces de faune et de flore prioritaires à protéger et proposition de mesures pour la conservation de la biodiversité en République Fédérale Islamique des Comores*. Projet Conservation de la Biodiversité et Développement Durable, RFIC : PNUD/FEM/Direction Générale de l'Environnement, 16 p.
- PARSKANI [2009]** - *Geological Report of Comores archipelago Anjouan, Moheli & Grande Comore Islands*. Vol.1, 45 p.
- PIEGAY H., PAUTOU G. & RUFFINONI Ch. [2003]**- *Les forêts riveraines des cours d'eau : écologie, fonctions et gestion*. Paris : IFD, 464 p.
- PIGEON P. & ROBIN M. [1993]**- *Cartes commentées et croquis*. NATHAN, 195 p.
- PLAISANCE G. [1959]**. *Les formations végétales et paysages ruraux. Lexique et guide bibliographique*. Paris : GAUTHIER-VILLARS, 421 p.
- PNUD [2003]**- *Rapport national sur le développement humain. Sécurité Alimentaire et Vulnérabilité* (Comores). http://www.km.undp.org/doc/rndh_04.pdf (Consulté 16/08/08).
- PNUD [2003]**- *Rapport national sur les Objectifs du Millénaire pour le Développement* (Union des Comores). http://www.km.undp.org/doc/omd_03.pdf (Consulté le 29/10/10).
- PNUD [2006]**- *Rapport national sur le développement humain* (Union des Comores). http://www.km.undp.org/doc/rndh_06.pdf (Consulté le 29/10/10).
- PONCET Y. [2002]**- Hydrosystèmes, sociosystèmes. In : *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*. Colloques et Séminaires, Paris (FRA) ; Bamako : IRD ; CNRST, p. 33-48.
- PRIMACK R. B. & RATSIRARSON J. [2005]**- *Principe de base de la conservation de la biodiversité*. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Centre d'Information Technique et Economique, Antananarivo-Madagascar, 294 p.
- PROVENCHER L. & DUBOIS J.-M. M. [2007]**- *Précis de la télédétection : Méthodes de Photointerprétation et d'Interprétation d'Image*. Vol 4. Québec : PUQ/AUF, 468 p.
- PULLIN A.S. [2002]**- *Conservation Biology*. Cambridge University Press, 328 p.

R

- RAETZO H. & LATELTIN O. [2003]**- Les mouvements de masse : glissements de terrain et éboulements. In : *Evénements extrêmes et changements climatiques*. Berne : OcCC, p. 79-82.
- RAMADE F. [2008]**- *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*. Paris : DUNOD, 719 p.

- RAMBAL S., LACAZE B. & WINKEL T. [1992]**- Les transferts d'eau dans le système sol-plante, Une perspective hiérarchique. In : *Hiérarchies et échelles en écologie*. Naturalia Publ. SCOPE, p. 43-64.
- RASOLONDRAINY A. D. [2005]**- *Contribution à l'étude hydrologique d'un milieu semi-aride : le cas du Bas-Fiherenana*. Mémoire de maîtrise en géographie, Université de Toliara, 99 p.
- ROBIN M. [2002]**- *Télédétection, des stellites aux SIG : analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique*. Paris, 2^e éd., NATHAN, 318 p.
- ROBINEAU Cl. [1963a]**- Approche socio-économique d'Anjouan. *Cahier de l'Institut des Sciences Economiques Appliquées*. CAPUCINES-PARIS II, série (V, n°6). p. 63-105.
- ROBINEAU Cl. [1963b]**- *Essai sur les phénomènes de comportements économiques à Anjouan (Archipel des Comores)*. Mémoire de DESSE, Université Madagascar. 153 p.
- ROBINEAU Cl. [1966]**- *Société et économie d'Anjouan (Océan Indien)*. Paris : ORSTOM, 260 p.
- ROOSE E.J. & LELONG F. [1976]**- Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique tropicale. Etudes sur petites parcelles expérimentales de sol. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*. Vol. XVIII, Fasc. 4. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_06-07/08680.pdf (Consulté le 10/04/14).
- ROUGERIE & BEROUTCHACHVILI [1991]**- *Géosystèmes et paysages : bilan et méthode*. Paris : ARMAND COLIN, 302 p.

S

- SAAM M. [1998]**- *Analyse S.I.G. et caractérisation écologiques des bassins versants de petits plans d'eau en relation avec la biodiversité*. Thèse de doctorat en biologie, Université de Genève, 143 p.
- SAINT OURS J. & PAVLOVSKY R. [1953]**- *Etude géologique de l'archipel des Comores*. Travaux du Bureau Géologique, n°51, Service Géologique Tananarive, 55 p.
- SENTERRE [2005]**- *Recherches méthodologiques pour la typologie de la végétation et la phytogéographie des forêts denses d'Afrique tropicale*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques et Ingénierie biologique, Université libre de Bruxelles, 97 p.
- SHEIL D., PURI R.K., BASUKI I., HEIST M. V., WAN M., LISWANTI N., RUKMIYATI, SARDJONO M. A., SAMSOEDIN I., SIDIYASA K., CHRISANDINI, PERMANA E., ANGI E. M., GATZWEILER F., JOHNSON B. & WIJAYA A. [2004]**- *A la découverte de la biodiversité, de l'environnement et des perspectives des populations locales dans les paysages forestiers. Méthodes pour une étude pluridisciplinaire du paysage*. Publié par le Center for International Forestry Research, http://www.cifor.cgiar.org/mla/_ref/fr/publication/exploring_biological_diversity.htm (Consulté le 23/07/08).
- SHNELL R. [1970]**- *Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux : Les problèmes généraux, Les flores - Les structures*. Volume I, Paris : GAUTIER-VILLARS, 499 p.
- SHNELL R. [1971]**- *Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux : Les problèmes généraux, Les milieux, Les groupements végétaux*. Volume II, Paris : GAUTIER-VILLARS, 951 p.

SINANE K., DAVID G., PENNOBER G. & TROADEC R. [2010]- Fragilisation et modification des formations littorales meubles sur l'île d'Anjouan (Comores) : quand l'érosion d'origine anthropique se conjugue au changement climatique. *VertigO – La revue en sciences de l'environnement*. <http://id.erudit.org/iderudit/1004058ar> (Consulté le 20/03/12).

STAPLETON M. [1986]- *Aménagement des bassins versants*. Programme d'Action 1984-1989. Développement Rural Intégré de Nyumakele et de Tsembehu, Ndzuwani. 32 p.

SUTHERLAND W.J. [2001]- *The conservation handbook : research, management and policy*. BLACKWELL SCIENCE, 251 p.

T

TRICART J. & KILIAN J. [1979]- L'écogéographie et l'aménagement du milieu naturel. *Hérodote*. Paris : F. MASPERO, 326 p.

TRICART J. [1972]- Reconnaissance géomorphologique de l'île d'Anjouan. *Revue de Géographie*, n° 21, Madagascar, p. 79-99.

TRICART J. [1994]- *Ecogéographie des espaces ruraux. Contribution méthodologique au programme international Géosphère-Biosphère*. Paris : NATHAN, 187 p.

U

UICN [2012]- *Catégories et Critères de la Liste rouge de l'UICN : Version 3.1*. 2^e éd.. Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni : UICN. 32 p.

UNEP & DGIC [2002]- *L'Afrique Orientale- Atlas des ressources côtières*. RFIC, 154 p.

V

VOISENAT Cl. [1995] - *Paysage au pluriel, pour une approche ethnologique des paysages*. Paris : Maison des Sciences de l'Homme. 240 p.

VOS P. [2004]- *Etudes des plantes ligneuses envahissantes de l'archipel des Comores (Union des Comores et Mayotte)*. Note thématique sur la santé des forêts et la biosécurité. Document de travail FBS/5F. Département des forêts, Division des ressources forestières. FAO, Rome (*non publié*). <http://www.fao.org/docrep/007/j1922f/j1922f00.htm> (Consulté le 16/01/10).

W

WÉRA-BUSSIÈRE M., CHAUVETTE L. & LORD P. [2010]- *Étude et aménagement du bassin versant de la rivière Osgood. Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour*. Rapport, 140 p.

WHITE F. [1986] - *La végétation de l'Afrique*. Paris : UNESCO/ORSTOM, 384 p.

Y

YENGUE J.L. [2003]- *Le SIG pour l'étude des dynamiques paysagère. Le cas de la Loire moyenne*. Actes de la Conférence Francophone ESRI. http://www.esrifrance.fr/sig2003/Communication/univtours/univtours_esri.htm (Consulté le 30/11/12).

Bases de données officielles consultées sur internet

Botanique et biodiversité

<http://www.theplantlist.org/> (The Plant List)

<http://data.gbif.org/> (Global Biodiversity Information Facility)

<http://www.tropicos.org/> (Tropicos)

<http://sciweb.nybg.org/Science2/vii2.asp> (The New York Botanical Garden)

<http://www.catalogueoflife.org/> (Catalogue of Life)

<http://plants.jstor.org/> (JSTOR Plant Science)

<http://www.biodiversitylibrary.org/> (Biodiversity Heritage Library)

<http://www.plantes-botanique.org/> (Plante Botanique)

<http://compositae.landcareresearch.co.nz/> (Global Compositae Checklist)

<http://www.kew.org/> (Kew Royal Botanic Gardens)

<http://science.mnhn.fr> (Muséum National d'Histoire Naturelle)

<http://floremaore.cbnm.org/> (Conservatoire Botanique National de Mascarin)

Données spatiales

<http://www.worldclim.org>. (WorldClim)

http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/EuDASM/Africa/ (*The soil maps of Africa*)

<http://sphaera.cartographie.ird.fr/tableaux/interactif/SphaAfr.html> (IRD)

<http://www.diva-gis.org/Data> (DIVA-GIS)

<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp> (Données altimétrique - SRTM)

Google Earth

Annexes

A) Fiches de relevés écologiques

B) Fiches d'enquêtes

**C) Carte d'occupation des sols après traitements d'une image SPOT 2 du
22 mai 1995 (source : Amir, 2010)**

D) La genèse et les enseignements de la thèse

A) Fiches de relevés écologiques

Grille de caractérisation écologique du site des relevés

N° feuille :	Localité :
Code :	Station :
N° relevé :	Nom du cours d'eau :
Date :	Coordonnées : S E

	Caractères topographiques	AM	IN	AV	Remarques
	Altitude				
Position topographique	- Dépression ouverte				
	- Dépression fermée				
		AM	IN	AV	
Pente	- Nulle : $0 < P \leq 0^{\circ}34$ (drainage nul)				
	- Faible : $0^{\circ}34 < P \leq 5^{\circ}11$ (drainage lent)				
	- Moyenne : $5^{\circ}11 < P \leq 13^{\circ}59$ (drainage moyen)				
	- Assez forte : $13^{\circ}59 < P \leq 26^{\circ}06$ (drainage rapide)				
	- forte : $26^{\circ}06 < P \leq 45^{\circ}00$ (drainage rapide)				
	- Très forte : $45^{\circ}00 < P \leq 70^{\circ}00$ (drainage très rapide)				
	- Abrupte : + de $70^{\circ}00$ (drainage très rapide)				

	Caractère de la surface du sol	AM	IN	AV	Remarques
Erosion	- Négligeable				
	- Hydrique par nappe				
	- Hydrique par rigole				
	- Hydrique par ravin				
	- Zone de départ d'éboulement				
	- Glissement				
		AM	IN	AV	
Recouvrement du sol (Charte de Folk, 1951)	- Surface couverte par la roche dure et les blocs				
	- Surface couverte par les pierrailles				
	- Surface couverte par la terre fine				
	- Surface couverte par la végétation (surface terrière)				
	- Surface couverte par la litière				
		AM	IN	AV	
Type de litière	- Pas de litière				
	- Litière foliacée dense				
	- Litière foliacée aérée				
	- Litière ligneuse				
	- Débris transformés par les animaux				

	Conditions hydriques et hydrologiques	AM	IN	AV	Remarques
Humidité apparente de la station	- Cas particulier				
	- Station sèche				
	- Station moyenne				
	- Station humide (eau en surface durant toute l'année)				
		AM	IN	AV	
Submersion	- Station apparemment jamais inondée				
	- Station inondable accidentellement				
	- Station submergée périodiquement (- ou + de 6 mois)				
	- Station toujours submergée				

Adapté d'EMBERGER et al. [1983]

Section des cours d'eau : AM : amont, IN : Intermédiaire, Aval : aval

Formulaire d'inventaires botaniques

Formation :

Type de sol :

Page		sur	
Relevé N°:			
Code :			
Date :			

Domaine :	
Localité :	
Station:	

Surface du relevé :m	xm
Orientation :			
Coordonnées :	Alt.	m
	S		
	E		

Auteur : *Nourddine MIRHANI*

N°	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille	Paramètre dendro			Phénologie		
				DHP cm	Hf (m)	Ht (m)	Fl	Fr	Vg

Fiche de relevés pédologiques

Echantillon :		Date :			
Lieu :		Relevé N°:			
Alt:		Auteur :	<i>Nourddine MIRHANI</i>		
S :		Page :		sur	
E :					

Roche mère :	Profondeur Litière (cm) :	Drainage :	Utilisation du terrain :	Température :	Erosion :		Observations
Symbole Horizon	Profondeur (cm)	Couleur	Texture	Structure	Forme éléments grossiers	Racine	

B) Fiches d'enquêtes

Fiche 1: Histoire du village

Chef ou doyen du village

Enquêteur	Nourddine MIRHANI	Date			
Village		Page		de	
Coordonnées	Alt				
	S				
	E				

Enquêté		Sexe	H	F
Age		Origine		

Question: S'il vous plaît, parlez-nous de l'histoire du village. Si le village a été déplacé, où se trouvait-il avant et pourquoi ce changement? Qu'est devenu l'ancien village?

N°	Nom de l'endroit	Emplacement	Année d'abandon	Raison	Utilisation présente

Fiche 2 : Désastres et événements importants

Chef ou doyen du village

Enquêteur	Nourddine MIRHANI	Date			
Village		Page		de	
Coordonnées	Alt				
	S				
	E				

Enquêté		Sexe	H	F
Age		Origine		

Question: Pourriez-vous nous parler des événements importants pour le village. Quand ont-ils eu lieu, quelles étaient leurs causes? Ajoutez d'éventuelles remarques. Racontez-nous ça en ordre chronologique.

N°	Année	Désastres/Événements importants	Causes	Remarques

Fiche 3 : Eau dans le passé-présent

Informateurs clés- Discussion de Groupe Cible

Enquêteur	Nourddine MIRHANI	Date			
Village		Page		de	
Coordonnées	Alt				
	S				
	E				

	Il y a 30 ans	Présent	Remarques
Eau			
Rivière			
Pluies			
Chaleur			

		Amont	Intermédiaire	Aval
Ecoulement de la rivière	Permanent <input type="checkbox"/>			
	Temporaire <input type="checkbox"/>			
	Période écoulement			

Fiche 4 : Connaissances traditionnelles sur les terres

Entretien - informateurs clés (3-5 personnes)

Informateur		Date			
Village		Enquêteur	Nourddine MIRHANI		
Coordonnées	Alt	Page		sur	
	S				
	E				

N°	Questions	Réponses
Utilisation et gestion des terres		
1.	Quels noms donnez-vous aux différents sols autour du village, sur les rives, les pentes,...) Quelles sont leur caractéristiques ? (couleur, texture et structure, profondeur)	a. b.
2.	Pouvez-vous classer ces types de sols en fonction de leur stabilité (sensibilité à l'érosion, glissement de terrain, etc.).	a. b.
3.	Quelles techniques utilisez-vous pour protéger votre terre contre les érosions ou contre les mauvaises herbes ?	

Fiche 5 : Usages des plantes

Enquêteur :	Nourddine MIRHANI	Date :				Informateur :				
Domaine :		Page :		sur		Age :		Sexe :	H	F
Lieu :						Origine :				
Rivière :										

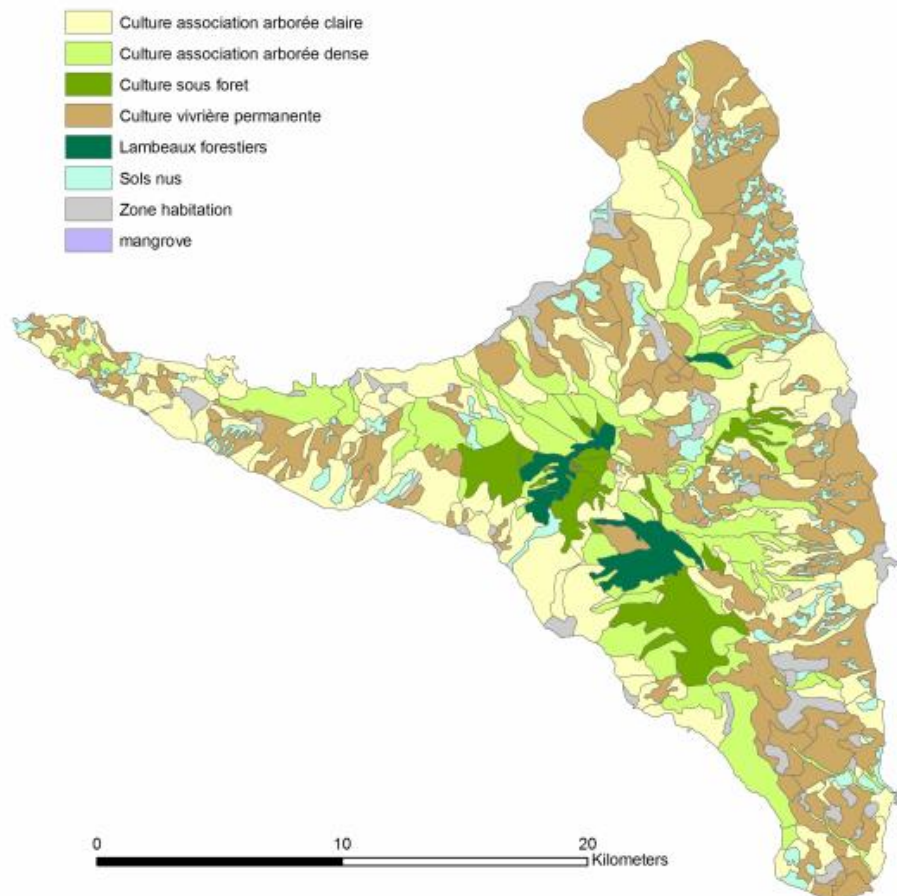
			Partie utilisée									
N°	Nom local	Description de l'utilisation	Racine	Feuilles	Fruits	Tronc	jeunes feuilles	Ecorce	Fleurs	Toute la plante	Tiges	Autre

Fiche 6 : Espèces supposées entretenir les écoulements

N°	Nom local	Site préférentiel	Observation

C) Carte d'occupation des sols après traitements d'une image SPOT 2 du 22 mai 1995 (source : Amir, 2010)

Résolution spatiale de 20 m



Traitements de la scène SPOT 2 du 22 mai 1995 selon Amir [2010] :

« La carte d'occupation du sol est le résultat de plusieurs traitements [...]. Des données exogènes ont également été utilisées pour son élaboration, les photos aériennes de 1998 et les anciennes cartes d'occupation. En plus des traitements automatiques liés à la classification non supervisée, des traitements manuels ont été effectués pour la numérisation finale des couches d'occupation du sol. La différenciation des zones de cultures sous forêts se fait également en utilisant les couches en vecteur issues de la carte d'occupation de 1984 associées à la classification. Ainsi notre carte est le résultat du traitement automatique de la scène spot associée aux données exogènes afin de réaliser une meilleure photo-interprétation. La faible étendue de l'île nous a autorisé à faire ces traitements manuels afin d'avoir de meilleurs résultats car la classification automatique bute sur les nombreux effets d'ombrage et la difficulté à séparer certaines de nos classes dans le domaine spectral. »

D) La genèse et les enseignements de la thèse

a) Le projet de thèse : du corridor écologique aux forêts galeries

La décennie 1990 a vu le développement de l'approche « corridor forestier » (corridor biologique ou écologique) lors de réunions internationales sur les questions d'environnement, en raison du constat du morcellement ou de la fragmentation qui menace les écosystèmes forestiers [Blanc-Pamard & Rakoto Ramiarantsoa, 2008]. Le concept a été perçu comme un moyen de connexion entre des écosystèmes isolés et de la gestion en écologie du paysage. Vu leur disposition linéaire, les forêts galeries comme les autres franges forestières fonctionnent de ce fait comme des corridors. Ainsi, le concept a rapidement connu son émergence à Madagascar⁶⁵, une île réputée mondialement par sa méga-biodiversité convoitée par les scientifiques du monde. Le minuscule archipel des Comores (2054 km²) situé à 300 km de ce géant de 592 000 km² ne fait pas le poids. Mais confronté également à la fragmentation de ces écosystèmes ou à la déforestation, la question de corridor écologique méritait d'y être posée et plus précisément à Anjouan qui, dans l'archipel, est la plus confrontée à ce phénomène.

Depuis Madagascar, l'idée d'un projet de thèse sur les forêts galeries en rapport avec la problématique de l'eau s'est précisée suite à des discussions avec notre directeur de recherches⁶⁶ en écologie végétale (2003) puis en géographie (2007 et 2008). Ces formations riveraines de cours d'eau que nous avons, depuis 2008, supposées exister à l'état relictuel sur des géotopes d'accès difficile, ne figuraient dans aucune des classifications typologiques d'occupation des sols proposées dans le pays. On se demandait si elles ont été négligées par nos prédécesseurs ou s'ils les ont simplement apparentées aux forêts denses humides de l'île. Tout laissait présager qu'on avait affaire à un terrain vierge, pas encore scientifiquement défriché mais aventureux. Les enjeux scientifiques de ces formations rivulaires (corridor biologique, écotone entre terre-eau, filtre et maintien des écoulements, contrôle des crues, stabilisation des berges, etc.) ont été mis en avant pour répondre éventuellement à une problématique à la fois écologique et socio-économique cruciale ; celle de la déforestation, des érosions et de l'« assèchement » ou de la diminution des débits des cours d'eau d'Anjouan. Mais une telle problématique associant les cours d'eau, le sol et la végétation nécessitait d'être abordée sous un angle systémique. Il a fallu trouver d'emblée un concept

⁶⁵ Le "corridor", un nouveau concept de gestion a été créé et mis en place à différentes échelles dans les pays du nord et les pays du sud, citaient Blanc-Pamard & Rakoto Ramiarantsoa [2008].

⁶⁶ Dr ROGER Edmond, Maître de Conférences en Ecologie et Botanique à l'Université d'Antananarivo.

géographique situé au carrefour de la transdisciplinarité : botanique, pédologie, hydrogéologie et géomorphologie. Conçue dans le souci de répondre à la problématique de la dégradation des terres en milieux ruraux, l'écogéographie de J. Tricart a donc servi de fer de lance à notre projet. Les ingrédients étaient donc réunis pour monter en 2008 le projet de thèse : « Approche écogéographique des forêts galeries à Anjouan : inventaires floristiques, caractérisation écologique, cartographie, schéma de restauration et plan de gestion ». Les objectifs de l'époque étaient de localiser les « vestiges des forêts galeries », identifier les facteurs écologiques et géographiques qui favorisaient ou contraignaient leur répartition pour pouvoir reconstituer leurs histoires naturelle et anthropique en rapport avec les cours d'eau. La finalité de la recherche était d'envisager une restauration écologique de ces corridors, établir une connexion non seulement entre eux mais aussi avec les forêts denses humides et leur assurer une gestion durable qui ne compromettra pas les besoins de l'homme. Après une documentation, une méthode d'approche associant les relevés écologiques, les enquêtes et la cartographie et un plan de la thèse ont été provisoirement établis dans le projet de thèse soutenu le 4 février 2009. A la fin de cette phase théorique marquée par des hypothèses et des « devinettes » sur le terrain, s'est poursuivie celle de la concrétisation d'une thèse de doctorat qui a débuté en 2010. Ayant planifié la méthodologie, il restait à la mettre en application pour le doctorat. Localiser les « vestiges de forêts galeries » sans entrer en contact direct avec le terrain était notre premier défi avant la descente sur le terrain pour les relevés botaniques.

b) Le temps de la thèse

Des tentatives de spatialisation des forêts galeries

Depuis Madagascar, nous avons eu l'occasion d'expérimenter une méthode de recherche associant l'écologie (relevés botanique et pédologique) à la cartographie et aux sciences sociales dans les forêts denses humides du Nord-Ouest, les fourrés et la mangrove du Sud-Ouest malgache. Dans le cadre de la thèse, il a été une occasion pour nous de transposer cette expérience sur les « reliques des forêts galeries » supposés exister à Anjouan. Comme dans le Sud-Ouest malgache, nous avons privilégié à Anjouan la cartographie et l'exploitation des images QuickBird de GoogleEarth pour atteindre le premier objectif de la thèse : localiser les « vestiges des forêts galeries ». Mais ce procédé qui, dès le projet de la thèse, a suscité beaucoup d'espoir, a révélé ses difficultés d'application lors d'un stage de formation de trois mois (septembre à décembre 2010) en géomatique au Laboratoire ESO-Angers. Nous nous sommes vite rendu compte de la complexité de projeter une approche spatiale appliquée à

grande échelle au géant malgache vers une île minuscule comme Anjouan. Chaque île a ses spécificités morphologiques et environnementales qui modifient les conditions d'observations d'une même cible (forêts galeries) à la même échelle. Contrairement au Sud-Ouest malgache, les conditions topographiques et météorologiques à Anjouan ont limité la possibilité d'acquérir des images satellites de bonne qualité (*cf. chapitre II, II.4.1*). La reconnaissance préliminaire et le repérage des formations végétales en question au moyen de la télédétection n'a été que théorique. Cet outil réputé efficace pour ses capacités d'acquisition rapide des données phytogéographiques dans de vastes étendues ou des zones d'accès difficile n'a pas pu extraire l'information cherchée dans les fonds des vallées. Face à ces difficultés, le recours aux traitements d'images radars a été envisagé mais l'idée fût abandonnée à défaut des moyens matériels. Des mois se sont passés sans que lesdites « forêts galeries » ne soient spatialisées. Or, cette première étape constituait une condition sine qua non pour la recherche. Une décision sur le choix des sites d'étude a dû être prise avant la descente sur le terrain à la fin décembre 2010. Il a donc été convenu de choisir des fonds de vallées en fonction de leur distance par rapport aux bâtis, en se référant aux images QuickBird de GoogleEarth et à la carte topographique au 1/50 000 de l'IGN (1995). L'hypothèse était que plus la localité était enclavée et plus elle s'éloignait des vallées, plus le degré d'anthropisation diminuait. Mais une telle démarche a réduit le champ d'étude qui a été prévu couvrir l'île. Parcourir tous les fonds de vallée d'Anjouan à la recherche des « forêts galeries » nécessitait plus de temps que celui imparti pour la thèse. Ainsi, ont été identifiés pour les prospections préliminaires de nombreux sites se trouvant dans les localités d'Ouzini à l'Est, Jimlimé au Nord, Kyo au Sud, Lingoni au centre Sud-Ouest, etc.

Le temps de la socialisation

Au retour du stage à Angers, la première descente sur le terrain a eu lieu le 21 décembre 2010. Il faisait beau temps lorsque nous sommes arrivé pour la première fois dans la localité la plus enclavée d'Anjouan : Ouzini. Nous nous sommes d'abord adressé à un homme sans histoires apparemment, le chef de la mosquée du vendredi, pour lui exposer nos motivations et demander selon sa disponibilité de nous conduire chez le chef de village, par la suite nous faire découvrir le village et enfin les fonds de vallée le même jour. En sa compagnie, saluant les individus croisés sur les chemins « *assalam alaïkum* » (Que la paix soit avec vous) ; les yeux dans les yeux, bon nombre répondaient « *waanlaïkum'salam* » (Que la paix soit aussi avec vous) avec un visage fermé. De l'autre côté par contre, des gamins nous enthousiasmaient. Faisant allusion à un étranger, ils nous appelaient inlassablement

« *mzoungou, mzoungou, ... !* » (le blanc, le blanc, ... !), nous disaient « *bonjour monsieur, bonjour monsieur, ... !* » et demandaient de les prendre en photo, le sourire aux lèvres. Chacun se faisait sa propre représentation de l'étranger qui débarquait au village. Les chaussures de randonnée, le sac au dos et l'appareil photo ont fait de nous, peut-être, un agent à la solde des politiciens pour les uns (coïncidence avec la fin des élections présidentielles), un membre d'un projet d'un « *mzoungou* » (un blanc) opérant dans les localités ou un prédicateur de la biodiversité venu perturber le mode de vie pour les autres, mais pas la moindre idée d'un étudiant chercheur. A travers ces représentations, autant de questions parfois embarrassantes nous ont été posées lors d'une première prise de contact avec un habitant du village : « *De quelle origine tu es ? Je te vois prendre note sans savoir ce qui t'a conduit dans notre village ? Travailles-tu pour la protection de l'environnement ? Autant de promesses nous ont été faites par des personnes qui viennent nous interviewer et prendre note sans que rien n'ait été réalisé ! A cause de vous, nous sommes dans cette misère !; etc.* ». Ayant l'impression que nous participions à l'une de ces entreprises de « promesses non tenues » ou de la conservation de la biodiversité qui exclut les populations locales, un sentiment de réticence s'est manifesté chez les paysans. Ces différentes représentations illusoire projetées sur nous reflètent des vécus ou des souvenirs souvent amers laissés par des tiers. Cela nous a obligé à une démarche longue, patiente et persévérante pour nous faire accepter dans le village avant de nous lancer dans les enquêtes ethno-écologiques. Il était de notre priorité d'éviter les discussions politiques et d'insister sur notre statut d'étudiant et le choix de ce village par rapport aux autres et d'exposer ce que nous attendions des habitants et ce que ces derniers attendaient de nous en retour. Il n'était pas question de notre part de faire des promesses.

A la recherche des forêts galeries entre mythe et réalité

La descente sur le terrain a eu lieu sans la moindre idée d'existence de la cible d'étude : les forêts galeries. Mais rappelons que quelques sites de prospection ont été provisoirement définis avec l'espoir d'obtenir des informations de la part des riverains en structurant notre questionnaire ainsi : « *S'il vous plait, où peut-on rencontrer de bons exemples de forêts galeries le long de cette rivière ? Pouvez-vous les situez sur la carte ? Pouvez-vous me donner les noms vernaculaires de quelques essences caractéristiques des rives ?* ». Etant confronté à une lacune dialectique en termes de « forêt galerie », cela nous a obligé de passer d'un langage verbal à une transcription imagée de l'objet d'étude pour être certain de la réponse donnée. En effet, la terminologie forêt – « *mpaharo* » – n'a aucune autre signification qu'un massif boisé chez les paysans. La question sur les forêts galeries leur paraissait étrange.

Leurs réponses étaient le plus souvent de cette sorte : « *Une forêt dans les fonds de cette vallée ? Il n'en existe pas !!! Vous ne verrez que quelques rares essences isolées, des cultures sur des rives et des blocs de roches* ». Ces réponses témoignent que les paysans raisonnent en termes d'essences isolées. Ils intègrent les rives immédiates qui les supportent dans un ensemble hydrogéologique appelé « *maga ya mro* » qui signifie littéralement « blocs rocheux de la rivière ». Autour de ces réponses, l'idée des forêts galeries ressurgit comme un mythe qui se justifie par l'absence d'un nom spécifique local. Dans ce contexte de manque de témoignage local, il a été question de parcourir en tout sens les fonds des vallées à la recherche d'un moindre indicateur de l'existence antérieure des forêts galeries. Mais nous étions confronté à un autre problème : les précipitations quasi-permanentes nous contraignaient à rebrousser chemin, dans des fonds de vallées encaissées et incontournables, au risque de nous faire emporter par les crues. De nombreuses tentatives de remonter jusqu'à la source de certains cours d'eau ont souvent échoué lors des prospections préliminaires. Les possibilités de prises de notes d'observations ou de photos sous la pluie étaient limitées. Les méthodes classiques d'inventaires forestières développées dans le projet de thèse permettant une comparaison entre parcelles témoins et défrichées des forêts galeries étaient inexploitable. Cependant, le fait d'observer une essence forestière sur des rives déjà mises en culture reflétait l'idée d'un témoin probable d'une forêt galerie ayant existé. Une telle information n'était pas suffisante pour tenter de reconstituer l'histoire naturelle de cette formation dans une thèse dont l'aboutissement était un schéma de restauration écologique.

c) Un changement de tournure de la thèse : vers les bassins versants

Un an passé, nous sommes toujours partagé entre le mythe et la réalité des forêts galeries. Après un bilan de la recherche de la première année de thèse à l'Université d'Angers, l'option de la palynologie a été ainsi avancée en septembre 2011 au LETG-Angers LEESA⁶⁷ pour clarifier la situation. Mais au risque de voir la thèse prendre une autre tournure, l'idée fût abandonnée, bien que la double approche naturaliste et sociale adoptée d'emblée le permettait. Cette démarche globalisante nous a cependant amené à recourir au concept de géosystème qui constitue la jonction de ces deux approches. Au lieu donc de nous focaliser sur lesdites forêts galeries, la nouvelle idée était d'étudier les formations végétales de fonds des vallées.

Après un bilan de la deuxième année de doctorat effectué en novembre 2012, le contour de la thèse se dessinait. A la suite d'un colloque international « Eaux, Milieux et Aménagement » qui s'est tenu à l'Université d'Angers, nos responsables de thèse et moi-

⁶⁷ LEESA : Laboratoire d'Etudes Environnementales des Systèmes Anthropisés

même avons présenté une communication orale intitulée : « De la problématique de l'eau au modèle numérique d'aménagement en milieu tropical humide insulaire : le bassin versant Ouzini-Ajaho (Anjouan – Comores) ». Le sujet de la thèse a été finalement décidé : « Dynamique d'évolutions des géosystèmes en milieu tropical humide insulaire : approche par les bassins versants d'Anjouan aux Comores ». Mais vu l'échéance de la thèse, il était impératif de réduire le champ d'étude et travailler dans deux bassins versants pilotes au minimum. Ceux-ci sont considérés comme des tubes à essai pour constituer un modèle représentatif des mutations environnementales à l'œuvre dans toute l'île, en rapport avec la problématique de l'eau.

Bref, ayant cru que les études des forêts galeries auraient été les plus faciles à traiter durant notre cursus universitaire et que les résultats de la thèse pourraient être produits dans deux ans à l'échelle de l'île, nous nous sommes rendu compte de la complexité d'une telle recherche. Contrairement aux forêts denses humides d'altitude observables par l'imagerie et sur le terrain, étudier les « forêts galeries » d'Anjouan, suppose qu'on s'aventure vers l'inconnu sans reconnaissance spatiale mais plutôt avec les témoignages des populations riveraines. Il faudrait dans ce cas une équipe de chercheurs répartie pour sillonner en tout sens les fonds de vallées de l'île ; cela ne peut pas être le travail d'un seul doctorant vu l'échéance de la thèse. Ainsi, notre recherche a finalement, pris une autre tournure laissant derrière elle des forêts galeries entre mythe et réalité. Nous ne pouvons ni nier ni confirmer leur existence. Des botanistes comoriens avancent avoir aperçu de belles forêts galeries dans le secteur Sud-Ouest, proche de la ville de Moya, lors de l'Inventaire Forestier National débuté à la fin 2009. Même si ce corridor écologique existe, il ne pourra pas à lui seul constituer une thèse de doctorat en géographie. Mais cela ouvre la voie à des études en vue de leur intégration, pour la première fois, dans la nomenclature de la phytogéographie des Comores et plus précisément d'Anjouan.

Liste des figures

Figure 1-Anjouan dans l'archipel des Comores	7
Figure 2- Découpage administratif d'Anjouan.....	8
Figure 3- Relief d'Anjouan	10
Figure 4- Pentes d'Anjouan cartographiées à une résolution de 90 m.....	11
Figure 5- Les différentes phases de formations de l'île d'Anjouan	12
Figure 6- Structure géologique d'Anjouan.....	13
Figure 7- Les cinq types d'aquifères identifiées à Anjouan	15
Figure 8- Les types de vents selon leurs secteurs et leurs périodes à Anjouan	17
Figure 9- Exposition des versants d'Anjouan aux flux aériens	17
Figure 10- Isohyètes annuelles d'Anjouan.....	18
Figure 11-Précipitations mensuelles de 1950 à 2000 à Anjouan (Data base WorldClim)	20
Figure 12- Précipitations mensuelles de 1981 à 2010 à Ouani (Station de Ouani).....	20
Figure 13- Isothermes annuelles d'Anjouan.....	22
Figure 14- Moyennes thermiques mensuelles d'Anjouan et de la localité de Ouani.....	23
Figure 15- Saisons thermiques d'Anjouan et de Ouani (WorldClim et Station de Ouani)	23
Figure 16- Diagramme ombrothermique d'Anjouan (Data base WorldClim 1950-2000).....	25
Figure 17- Diagramme ombrothermique de Ouani.....	25
Figure 18- Domaines hydrologiques et cours d'eau d'Anjouan	28
Figure 19- Types de sols d'Anjouan.....	36
Figure 20- Proportion des sols d'Anjouan	37
Figure 21- Typologie d'occupation des terres à Anjouan en 1995	39
Figure 22- Enoncé de la démarche méthodologique.....	43
Figure 23- Protocole de traitements de l'image SPOT sous ENVI.....	47
Figure 24-Intégration d'une image SPOT 5 dans un SIG	47
Figure 25- Procédée pour générer des cartes d'exposition et de pente	49
Figure 26- Création d'un relief virtuel par la photo-interprétation stéréoscopique	51
Figure 27- Méthode d'approche sociale et naturaliste	61
Figure 28- Structure d'un géosystème	62
Figure 29- Nébulosité détériorant la qualité des images SPOT pendant l'acquisition.....	65
Figure 30- Décalage observé entre les contours de référence DIVA-GIS et de la carte topographique de l'IGN lors du géoréférencement.....	67
Figure 31- Correction de coordonnées latitudinales de la carte topographique de l'IGN 1995	67
Figure 32- Répartition irréaliste des isohyètes issues des interpolations statiques de WorldClim.....	68
Figure 33- Répartition réaliste des isohyètes issues des statistiques locales	68
Figure 34- Localisation des bassins versants Lingoni-Pomoni et Ouzini-Ajaho.....	70
Figure 35- Morphologie du bassin versant Ouzini-Ajaho.....	72
Figure 36- Superficie des pentes dans le bassin versant Ouzini-Ajaho	73
Figure 37- Chenal en long de la rivière Havundrékuni-Ajaho selon un MNT au pas de 90 m	74
Figure 38- Classes des pentes du bassin et tronçons de la vallée Ouzini-Ajaho	75
Figure 39- Morphologie et tronçons de la vallée Ouzini-Ajaho	75
Figure 40- Profil de la vallée dans le tronçon T2	76
Figure 41- Profils de la vallée dans le tronçon T3	77
Figure 42- Profil de la vallée dans le tronçon T4	78
Figure 43- Morphologie du bassin versant Lingoni-Pomoni.....	80
Figure 44- Classes de pentes du bassin et tronçons de la vallée.....	80
Figure 45- Superficie de classes de pentes dans le bassin versant Lingoni-Pomoni.....	81
Figure 46- Chenal en long de petit fleuve de Pomoni selon un MNT de résolution 90 m.....	82
Figure 47- Profil de la vallée dans le tronçon T1	83
Figure 48- Profil de la vallée dans le tronçon T2	83
Figure 49- Profils de la vallée dans le tronçon T3	84
Figure 50-Exposition des versants du bassin versant Ouzini-Ajaho.....	85

Figure 51- Exposition des versants du bassin versant Lingoni-Pomoni	86
Figure 52- Principaux types d'occupation du bassin versant Ouzini-Ajaho	88
Figure 53- Principaux types d'occupation du bassin versant Lingoni-Pomoni	89
Figure 54- Typologie d'occupation des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni	90
Figure 55- Echantillon d'occupation du sol du bassin versant Ouzini-Ajaho	91
Figure 56- Le village d'Ouzini et ses terrains agricoles.....	92
Figure 57- Des cultures et des jachères dans une vallée à Ouzini	93
Figure 58- Un versant raide sous couvert forestier et un replat mis en culture à Ouzini	94
Figure 59- Etagement des unités paysagères.....	95
Figure 60- Répartition des familles dans un géotope de jachère herbeuse.....	97
Figure 61- Profil de la formation végétale couvrant le géotope étudié	98
Figure 62- Répartition des familles dans un géotope à dominance ligneuse.....	99
Figure 63- Quelques familles remarquables des bassins versants Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni .	103
Figure 64- Tendances évolutives des précipitations de 1981 à 2010 (Station de Ouani).....	107
Figure 65- Tendances évolutives des températures de 1981 à 2010 (Station de Ouani).....	107
Figure 66- Les saisons thermiques de 1978-1983 et 2005-2010 (Station de Ouani)	108
Figure 67- Diagramme ombrothermique de Ouani 1978-1983 (Station de Ouani).....	108
Figure 68- Diagramme ombrothermique de Ouani 2005-2010 (Station de Ouani)	108
Figure 69-Evolution d'un chenal de la rivière Havundrékuni en 2005 et 2013 dans le tronçon 2	113
Figure 70-Evolution d'un chenal de la rivière Havundrékuni 2005-2013 dans le tronçon 2 passant sous le pont de Djidjini	113
Figure 71- Evolution de la population d'Anjouan en 1966 et 2003.....	116
Figure 72- Evolution de la population dans le bassin versant Ouzini-Ajaho	117
Figure 73- Répartition évolutive de la population dans le bassin versant Ouzini-Ajaho.....	118
Figure 74- Evolution de la population dans le bassin versant Lingoni-Pomoni	119
Figure 75- Répartition évolutive de la population dans le bassin versant Lingoni-Pomoni.....	120
Figure 76- Evolution spatio-temporelle des habitations pendant et après 1955 à Anjouan	123
Figure 77- La couverture forestière d'Anjouan en 1955 et 2009.....	129
Figure 78- Evolution de la densité de la population d'Anjouan par terres cultivables	130
Figure 79-Regard interne des riverains sur les unités paysagères	143
Figure 80- Services et biens fournis par la forêt selon les riverains	143
Figure 81-Regard interne des riverains sur les états saisonniers des cours d'eau.....	144
Figure 82-Regard externe des institutionnels sur les unités paysagères.....	144
Figure 83- Regard externe des institutionnels sur les états saisonniers des cours d'eau.....	146
Figure 84-Regard intermédiaire des écogardes sur les unités paysagères.....	147
Figure 85-Regard intermédiaire des écogardes sur les états saisonniers des cours d'eau	147
Figure 86- Classification paysanne des sols	154
Figure 87-Indice d'Identification Locale de la flore du maintien des cours d'eau	159
Figure 88-Répartition des services sociaux de la flore	165
Figure 89- Répartition des services floristiques par organe végétal	165
Figure 90- Sensibilité des bassins versants Lingoni-Pomoni et Ouzini-Ajaho aux précipitations	180
Figure 91- Sensibilité des pentes aux décapages et aux mouvements de masse.....	181
Figure 92- Vulnérabilité aux décapage et mouvements de masse selon l'occupation des sols	183
Figure 93- Sensibilité du milieu physique aux risques environnementaux	184
Figure 94-Déterminants d'un modèle d'aménagement intégré des bassins versants.....	187
Figure 95- Vue planimétrique du modèle d'aménagement du bassin versant Ouzini-Ajaho.....	193
Figure 96- Transcription paysagère du modèle d'aménagement du bassin versant Ouzini-Ajaho.....	193
Figure 97-Vue planimétrique du modèle d'aménagement du bassin versant Lingoni-Pomoni.....	195
Figure 98- Transcription paysagère du modèle d'aménagement du bassin versant Lingoni-Pomoni .	195
Figure 99-Vue paysagère d'un échantillon du modèle d'aménagement du bassin versant Ouzini-Ahaho	197
Figure 100-Vue paysagère de la situation forestière de 2007 par rapport au seuil maximal de la déforestation	197
Figure 101-Vue planimétrique de la situation forestière de 2007 par rapport au seuil maximal de la déforestation	197

Liste des photos

Photo 1- Section d'un cours d'eau aux lits mineur et majeur avec granoclassement	30
Photo 2- Section d'un cours d'eau avec un lit majeur occupé par des habitations et des cultures	30
Photo 3- Section d'un cours d'eau à un seul lit à fond caillouteux concave et sableux convexe	30
Photo 4-Le marécage du littoral de Pomoni	31
Photo 5- Le lac Dzilandzé dans la massif central	31
Photo 6- Forêt ombrophile ou forêt de nuage dans le massif central.....	39
Photo 7- Culture sous forêt : bananier et taro dans le bassin versant Ouzini-Ajaho.....	39
Photo 8- Association cultures arborées claires et herbacées : manguier, cocotier et bananier dans un bassin versant à Mirontsy	41
Photo 9- Association cultures arborées denses : cocotier, giroflier et arbre à pain dans le bassin versant de Mutsamudu	41
Photo 10-De la collecte aux analyses des échantillons pédologiques	45
Photo 11- Dispositif mis en place pour la photo-interprétation sous stéréoscope à miroir	51
Photo 12- Mosaïque de photographies aériennes avec tracés du relief assistés par stéréoscope.....	52
Photo 13- Les trois unités paysagères retenues pour l'enquête	56
Photo 14- Les trois états d'un cours d'eau intermittent	56
Photo 15- Pluviomètre rempli d'eau pendant des jours sans relevés	68
Photo 16- Morphologie du petit cirque d'Ouzini.....	72
Photo 17- Tronçon 1 : l'amont de la rivière Havundrékuni en hautes eaux en mai 2011	76
Photo 18- Tronçon 1 : l'amont de la rivière Havundrékuni en basses eaux en décembre 2010.....	76
Photo 19- Tronçon 2 : le lit de la rivière à sec le 1 ^{er} mai 2011	76
Photo 20- Tronçon 2 : écoulement intermittent le 2 mai 2011 après les pluies.....	76
Photo 21- Tronçon 2 : tarissement de la rivière avant le 12 mai 2011.....	76
Photo 22- Tronçon 3 : pied d'une chute d'eau de Havundrékuni en déficit en décembre 2010.....	78
Photo 23- Tronçon 3 : pied d'une chute d'eau de Havundrékuni en hautes eaux en mai 2011	78
Photo 24- L'embouchure de la rivière Havundrékuni-Ajaho en février 2012.....	79
Photo 25- L'embouchure de la rivière Havundrékuni-Ajaho en mai 2012	79
Photo 26- Diminution du débit de la chute de Lingoni en période moins pluvieuse de juillet.....	82
Photo 27- Augmentation du débit de la chute de Lingoni en période pluvieuse de février	82
Photo 28- Circulation des masses d'air en amont du bassin versant Ouzini-Ajaho.....	87
Photo 29- Couverture nuageuse sur la forêt en amont du bassin versant Ouzini-Ajaho	87
Photo 30- Site de relevés écologiques sur la rive gauche de la rivière Havundrékuni.....	96
Photo 31- Site de relevés à dominance de ligneux sur la rive gauche de la rivière Havundrékuni	98
Photo 32- <i>Schefflera myrifolia</i>	100
Photo 33- <i>Polyscias sp.</i>	100
Photo 34- <i>Asplenium nidus</i>	100
Photo 35- <i>Pteridophyte phymatodes</i>	100
Photo 36- Site de relevés écologiques le long de la rive gauche de petit fleuve Pomoni.....	101
Photo 37- Des terrains arables engravés par les crues ravageant les cultures	112
Photo 38- Des plantations de girofliers encombrées de blocs de roches.....	112
Photo 39-Une berge reliant les escaliers du pont de Djidjini stabilisée avant les pluies diluviennes du 18/04/12	112
Photo 40-Recul de la berge et érosion du substrat des escaliers du pont de Djidjini par les crues extrêmes du 18/04/12.....	112
Photo 41- Etat du chenal le 02/01/11 avant les pluies diluviennes du 18/04/12 à Djidjini	112
Photo 42- Eroulement et élargissement du chenal après les pluies diluviennes du 18/04/12	112
Photo 43- Processus et impacts de charriage de matériaux issus de mudflows en rivière	114
Photo 44- Des cultures d'exportation en 1950.....	124

Photo 45- ...à la création du village de Ngandzalé en 1955	124
Photo 46- Des cultures d'exportation en 1969.....	124
Photo 47- ...à la création du village de Salamani après l'indépendance de 1975	124
Photo 48- Des terres occupées par des cultures industrielles en 1969... ..	124
Photo 49- ... à la création du village de Bwéladungu après l'indépendance de 1975	124
Photo 50- Lingoni en 1969 : une mono-culture dominante.....	126
Photo 51- Lingoni en 1998 : un recul des espaces culturels au profit des habitations	126
Photo 52- Lingoni en 2013 : une densification et un étalement urbain.....	126
Photo 53- Pomoni en 1950 : des cultures d'exportation dominant les habitations	127
Photo 54- Pomoni en 1969 : un recul des cultures d'exportation	127
Photo 55- Pomoni en 2003 : un étalement des habitations face aux cultures	127
Photo 56- Couverture forestière en recul face aux besoins en terres agricoles sur les versants	131
Photo 57- Ouverture d'une clairière et mise en culture à plus de 1000 m d'altitude.....	131
Photo 58- Situation de 1969 : le lac Dzianzé et son environnement dans le bassin versant Lingoni-Pomoni	131
Photo 59- Situation de 2003 : déforestation, ensablement et baisse du niveau du lac Dzianzé dans le bassin versant Lingoni-Pomoni	131
Photo 60- Ouzini en 1969 : une faible densité ligneuse dans les zones culturelles	133
Photo 61- Ouzini en 2005 : une forte extension des arbres allochtones à dominance girofliers	133
Photo 62- Un peuplement de girofliers en amont du bassin versant Ouzini-Ajaho.....	133
Photo 63- Apparition des galets et rupture de la route près d'un site d'extraction de sable marin à Pomoni	136
Photo 64- Remontée du sable et dégradation continue de la route après abandon d'extraction du sable	136
Photo 65- Sable extrait du lit de la rivière Ajaho à Salamani	137
Photo 66- Sable et gros galets extraits du lit du petit fleuve Lingoni-Pomoni	137
Photo 67- Murette en pierres sèches pour le maintien du sol.....	157
Photo 68- Protection du sol par herbage	157
Photo 69- Protection du sol par la technique de paillage	157
Photo 70- Recouvrement du sol par des débris végétaux.....	157
Photo 71-Espèces de forte potentialité socio-économique mais en danger critique	172

Liste des tableaux

Tableau 1- Récapitulatif des précipitations insulaires et locales d'Anjouan.....	21
Tableau 2- Récapitulation sur les saisons thermiques à Anjouan et Ouani.....	24
Tableau 3- Typologies ombrothermiques de Gaussen et de Rivas-Martinez	25
Tableau 4- Périodes ombrothermiques de Ouani et d'Anjouan selon la classification de Rivas-Martinez	26
Tableau 5-Récapitulation sur les caractéristiques des domaines hydrologiques d'Anjouan.....	28
Tableau 6- Récapitulatif des classifications d'occupation des sols aux Comores	34
Tableau 7- Typologie des sols d'Anjouan selon la roche mère.....	37
Tableau 8- Classes de pentes, catégories de pentes et drainage externe	48
Tableau 9- Récapitulatif des tronçons de la vallée Ouzini-Ajaho	79
Tableau 10- Récapitulatif des caractéristiques des tronçons de la vallée du petit fleuve Pomoni.....	84
Tableau 11- Caractéristiques pédologiques d'un sol en jachère.....	96
Tableau 12- Caractéristiques pédologiques d'un sol rivulaire à dominance de ligneux	97
Tableau 13- Code de couleur et pH du sol de la rive gauche en aval de petit fleuve Pomoni.....	100
Tableau 14- Récapitulatif des caractéristiques des bassins versants.....	104
Tableau 15- Récapitulation sur les données ombrothermiques entre 1978-1983 et 2005-2010 (Station de Ouani).....	109
Tableau 16- Evolution de la population dans le bassin versant Ouzini-Ajaho	117
Tableau 17- Evolution démographique dans le bassin versant Lingoni-Pomoni.....	118

Tableau 18- Evolution de la couverture forestière dans les quatre domaines hydrologiques d'Anjouan	128
Tableau 19-Sensibilités paysagères selon les acteurs	148
Tableau 20- Sensibilité des états saisonniers d'un cours d'eau selon les acteurs	148
Tableau 21- Quelques oiseaux répertoriés à Ouzini	160
Tableau 22-Répartition de la flore par classe de valeurs socio-économiques et culturelles.....	163
Tableau 23- Répartition du nombre de services floristiques par espèce	164
Tableau 24-Description récapitulative des valeurs potentielles de la flore	166
Tableau 25- Distribution des quelques espèces d'utilité sociale dans l'archipel des Comores	169
Tableau 26-Evaluation de la vulnérabilité des espèces d'utilité sociale	170
Tableau 27- Evaluation des risques d'extinction des espèces selon les critères de l'UICN	171
Tableau 28- Critères de sensibilité du bassin versant Ouzini-Ajaho aux précipitations	179
Tableau 29- Les pentes et leur sensibilité au risque de décapage et aux mouvements de masse	180
Tableau 30-L'occupation des sols et sa sensibilité aux risques de décapage et mouvements de masse	183
Tableau 31-La sensibilité des pentes aux risques environnementaux suivant les types de sol.....	186
Tableau 32-Caractéristiques des milieux et possibilités d'aménagements.....	191
Tableau 33-Les possibilités d'aménagement et les superficies correspondantes	192
Tableau 34-Comparaisons des possibilités d'aménagement et des classes de pentes correspondantes	198

Table des matières

Sommaire.....	I
Dedicace	II
Remerciements	III
Acronymes	III
Introduction générale	1
Partie I. Le terrain et les outils méthodologiques	6
Chapitre I. Anjouan, un espace atelier	7
I.1- La situation géographique et administrative.....	7
I.2- Le cadre physique	8
I.2.1- L'état des connaissances	8
I.2.2- Un relief accidenté	9
I.2.3- La genèse : les « trois paroxysmes volcaniques ».....	11
I.2.4- Le fonctionnement hydrogéologique	14
I.3- Les conditions climatiques	16
I.3.1- Les domaines climatiques selon les directions des vents	16
I.3.2- Des précipitations inégalement réparties dans l'espace-temps	18
I.3.3- Des températures inégalement réparties dans l'espace-temps	21
I.3.4- Un climat chaud et humide.....	23
I.4- Les facteurs hydrologiques	27
I.4.1- Les quatre domaines hydrologiques.....	27
I.4.2- Les trois sections longitudinales des cours d'eau	29
I.4.3- Les lits mineurs et majeurs des cours d'eau	29
I.5- Les sols et leur occupation.....	32
I.5.1- L'état des connaissances :	32
I.5.2- La typologie des sols	35
I.5.3- L'occupation des sols	38
Chapitre II. La méthodologie et les concepts.....	42
II.1- L'approche naturaliste des milieux	42
II.1.1- Des relevés à l'identification des échantillons écologiques	43
II.1.2 - L'acquisition et les sources des données spatiales.....	45
II.1.3- Les traitements des données spatiales.....	46
II.1.4- La caractérisation morphométrique des bassins versants.....	52
II.1.5- Les analyses des statistiques climatiques	53
II.2- L'approche sociale	54
II.2.1- L'enquête sur les représentations paysagères	54
II.2.2- Un recueil des témoignages sur les trajectoires paysagères	55
II.2.3- Les enquêtes ethno-écologiques et ethno-taxonomiques	57
II.2.4- L'évaluation de la vulnérabilité floristique	59
II.3- Le concept géosystème et le bassin versant	61
II.3.1- Le concept géosystème de G. Bertrand.....	61
II.3.2- Le bassin versant : un géosystème	63
II.4- Les limites relatives aux données	64
II.4.1- Les images SPOT	64
II.4.2- Les photographies aériennes	65
II.4.3- La carte topographique de référence.....	66
II.4.4- Les statistiques climatiques	66

Partie II. Les deux bassins versants pilotes : Ouzini-Ajaho et Lingoni-Pomoni...69

Chapitre III. Analyse descriptive des composantes géosystémiques.....70

III.1- Le bassin versant Ouzini-Ajaho : un géosystème du domaine de l'Est	71
III.1.1- La morphologie d'ensemble.....	71
III.1.2- La morphométrie du réseau et des tronçons hydrographiques	73
III.2- Le bassin versant Lingoni-Pomoni : un géosystème du domaine du Sud-Ouest.....	79
III.2.1- La morphologie d'ensemble.....	79
III.2.2- La morphométrie du réseau et des tronçons hydrographiques	81
III.3- Les expositions et les mécanismes climatiques.....	84
III.4- Typologie d'occupation des sols : du bassin versant à l'espèce.....	87
III.4.1- Le niveau « territoire d'exploitation » : le bassin versant	88
III.4.2- Le niveau « terroir d'exploitation »	90
III.4.3- De la mésologie à l'espèce : une approche par l'écologie végétale.....	95
III.4.4- Une synthèse de la liste globale des échantillons botaniques collectés	102

Chapitre IV. Dynamiques d'évolution des composantes géosystémiques.....106

IV.1- Le climat comme facteur de la dynamique d'évolution naturelle	106
IV.1.1- Les tendances évolutives des précipitations et des températures	106
IV.1.2- La saisonnalité	107
IV.1.3- Les aléas climatiques de l'Océan Indien à l'archipel des Comores	109
IV.1.4- Les ravages cycloniques et les pluies diluviennes à Anjouan.....	110
IV.2- Les facteurs et la dynamique d'évolutions anthropiques des bassins versants	115
IV.2.1- Anjouan face à une croissance démographique à tendance linéaire.....	115
IV.2.2- Le bassin versant Ouzini-Ajaho face à une croissance démographique irrégulière ...	116
IV.2.3- Le bassin versant Lingoni-Pomoni : une croissance démographique à tendance « exponentielle »	118
IV.3- Les dynamiques d'évolution spatio-temporelle d'occupation des sols.....	120
IV.3.1- Le foncier entre dépossession et désordres socio-politiques.....	121
IV.3.2- Une urbanisation versus espaces agricoles	122
IV.3.3- Des forêts en recul.....	128
IV.3.4- Le cas particulier des girofliers	132
IV.4- Un changement de mode d'utilisation des ressources	134
IV.4.1- L'exploitation des essences forestières.....	134
IV.4.2- Une extraction de granulats marin et alluvial.....	135
IV.4.3- Des captages de type gravitaire ayant des impacts sur l'hydrographie.....	138

Partie III. A la recherche d'un modèle d'analyses140

Chapitre V. Multiplicité des acteurs, multiplicité des regards.....141

V.1- Des unités paysagères et des acteurs : des représentations différentes	141
V.1.1- Le paysage des habitants : un regard interne.....	142
V.1.2- Le paysage des institutionnels : un regard externe	144
V.1.3- Le paysage des éco-gardes : un regard interne - externe	146
V.2- Vers une immersion dans l'univers paysan.....	149
V.2.1- Des échecs et des leçons à tirer : la terre et le paysan, des liens sacrés	149
V.2.2- L'« administration paysanne » et les décideurs influents	151
V.2.3- Les savoirs paysans et académiques : une logique de complémentarité.....	153

V.3- Un regard écologique et social de la flore.....	158
V.3.1- Des plantes au service de l'eau.....	158
V.3.2- Des plantes au service d'une « faune menacée ».....	159
V.3.3- Des plantes au service de l'homme	160
V.4- De l'évaluation des services et de la vulnérabilité floristiques	162
V.4.1- L'importance sociale des espèces selon leur Indice d'Utilisation	163
V.4.2- Les valeurs floristiques par nombre de services et par organe	163
V.4.3- Les statuts phytogéographiques des espèces d'utilité sociale	166
V.4.4- Une évaluation de la vulnérabilité des espèces d'utilité sociale.....	169
Chapitre VI. La perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants : mythe et réalité, sensibilité des milieux et modèle d'aménagement	173
VI.1- La perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants à Anjouan : mythe et réalité	173
VI.1.1- Un regard critique sur la terminologie « assèchement ».....	173
VI.1.2- La perturbation du régime hydrologique : un fait avéré	174
VI.1.3- Le mythe et la réalité du rôle de la déforestation sur l'eau	175
VI.1.4- Des ressources en eau face à la croissance démographique : mythe et réalité.	177
VI.2- Les critères de sensibilité des milieux physiques	178
VI.2.1- La pluviométrie	179
VI.2.2- Les pentes et les sols	180
VI.2.3- L'occupation des sols	182
VI.2.4- Sensibilité potentielle du milieu physique aux décapages et mouvements de masse.	183
VI.2.5- Discussion.....	185
VI.3- La nécessité d'un modèle d'aménagement intégré.....	186
VI.3.1- Les déterminants d'un modèle d'aménagement intégré	187
VI.3.2- Le modèle d'aménagement	191
VI.3.3- Vers une confrontation du modèle d'aménagement à la réalité du terrain	196
VI.3.4- Discussion.....	196
VI.4 - Quelques contraintes	200
Conclusion générale	203
Bibliographie et webographie.....	210
Annexes	225

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Table des matières

Dynamiques d'évolution des géosystèmes en milieu tropical humide insulaire : Approche par les bassins versants d'Anjouan aux Comores

Résumé

Depuis plus de 30 ans, Anjouan, île volcanique tropicale humide de l'archipel des Comores situé à l'entrée Nord du Canal de Mozambique entre l'Afrique et Madagascar dans l'océan indien, connaît une perturbation du régime hydrologique de ses bassins versants avec une diminution des ressources en eau sur les zones côtières mais aussi des excès responsables de crues violentes et de mouvements de masse. Les origines du phénomène, mal connues, sont fréquemment associées à la déforestation anthropique sur les versants. Pour répondre à cette problématique, une approche méthodologique multi-source, multi-date et multi-échelle a été adoptée. Elle s'appuie sur la mise en œuvre d'un Système d'Information Géographique associant des Modèles Numériques de Terrain, des images satellites (Spot 5 et Quickbird de Google Earth) et des photographies aériennes (1950, 1969 et 1998) aux statistiques climatiques et démographiques ainsi qu'à des relevés écologiques et des enquêtes. Les résultats de l'étude sur deux bassins versants pilotes aux régimes d'écoulements différents, l'un permanent situé dans le domaine du Sud-Ouest et l'autre temporaire à l'Est d'Anjouan, montrent une réalité multi-causale et plus complexe de la perturbation du fonctionnement hydrologique des bassins versants d'Anjouan. Les mesures techniques ne suffisent pas pour résoudre le problème. Il est de ce fait préconisé un modèle d'aménagement qui intègre les composantes environnementales, sociales, économiques et politique des bassins versants.

Mots-clés : Comores, Anjouan, bassin versant, géosystème, fonctionnement hydrologique, aménagement

Dynamic evolution of geosystems island in the humid tropics: Approach by the watershed of Anjouan in the Comoros

Abstract

For over 30 years, Anjouan, tropical volcanic island of the Comoros archipelago located at the Northern entrance of the Mozambique Channel between Africa and Madagascar in the Indian Ocean, is experiencing a disturbance of its hydrological watersheds with a decrease of water resources but also excess responsible for violent floods and mudflows. The origins of this phenomenon, little known, are frequently associated with anthropogenic deforestation on the slopes. To answer this problem, a methodological approach multi-source, multi-date and multi-scale was adopted. It relies on the implementation of a Geographic Information System combining Digital Elevation Models, satellite images (SPOT 5 and Quickbird of Google Earth) and aerial photographs (1950, 1969 and 1998), statistics climate and demographic as well as ecological surveys and investigations. The results of the study on two pilot watersheds with different regime flows, one permanent located in the area of Southwest and the other temporary in East of Anjouan, show a multi-causal reality and more complex disturbance of the hydrological functioning of watersheds of Anjouan. Technical measures are not sufficient to solve the problem. It is therefore recommended a model of developing that integrates the environmental, social, economic and political components of watersheds.

Keywords : Comoros, Anjouan, watershed, geosystem, hydrological functioning, developing

